

SÉRIE A N° 1044

N° D'ORDRE: 1882

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

IOAN GH. BOTEZ

1^{re} THÈSE. — Etude morphologique et morphogénique du squelette du bras et de l'avant-bras chez les primates.

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 5 ~~Fevrier~~ *Mars* 1926, devant la Commission d'examen.

MM. WINTREBERT. *Président.*

GUILLERMOND } *Examineurs.*

DEREIMS }

PARIS

LIBRAIRIE OCTAVE DOIN

GASTON DOIN & C^o, EDITEURS

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1926

THÈSES

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES
NATURELLES

SÉRIE A N° 1044
N° D'ORDRE : 1882

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

IOAN GH. BOTEZ

1^{re} THÈSE. — Etude morphologique et morphogénique du squelette du bras et de l'avant-bras chez les primates.

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 5 Février 1926, devant la Commission d'examen.

MM. WINTREBERT. *Président.*

GUILLERMOND
DEREIMS } *Examineurs.*

PARIS

LIBRAIRIE OCTAVE DOIN

GASTON DOIN & C^{ie}, EDITEURS

8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1926

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen MOLLIARD, *Professeur*. Physiologie végétale.

Doyen honoraire. P. APPELL.

Professeurs honoraires. { P. PUISEUX.
V. BOUSSINESQ.
A. JOANNIS.



	Emile PICARD . . .	Analyse supérieure et algèbre supérieure.
	G. KENIGS	Mécanique physique et expérimentale.
	E. GOURSAT	Calcul différentiel et calcul intégral.
	P. JANET	Electrotechnique générale.
	F. WALLERANT . . .	Minéralogie.
	H. ANDOYER. . . .	Astronomie.
	P. PAINLEVÉ. . . .	Mécanique analytique et mécanique céleste.
	E. HAUG	Géologie.
	H. LE CHATELIER . .	Chimie générale.
	Gabriel BERTRAND.	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE	Physique générale et radioactivité.
	M. CAULLERY	Zoologie (Evolution des êtres organisés).
	C. CHABRIÉ	Chimie appliquée.
	G. URBAIN	Chimie minérale.
	Emile BOREL	Calcul des probabilités et Physique mathém.
	L. MARCHIS	Aviation.
	Jean PERRIN	Chimie physique.
	H. ABRAHAM	Physique.
	E. CARTAN	Géométrie supérieure.
Professeurs.	L. LAPICQUE	Physiologie.
	E. VESSIOT	Théorie des groupes et calcul des variations.
	A. COTTON	Physique générale.
	J. DRACH	Applications de l'analyse à la géométrie.
	Charles FABRY . . .	Physique.
	Charles PÉREZ . . .	Zoologie.
	A. LEDUC	Physique théorique et physique céleste.
	Léon BERTRAND . .	Géologie appliquée et géologie régionale.
	R. LESPIEAU. . . .	Théories chimiques.
	E. RABAUD	Biologie expérimentale.
	P. PORTIER	Physiologie comparée.
	E. BLAISE	Chimie organique.
	P.-A. DANGEARD . .	Botanique.
	C. MAURAIN	Physique du globe.
	P. MONTEL	Mécanique rationnelle.
	P. WINTREBERT . .	Anatomie et histologie comparées.
	O. DUBOSQ	Biologie maritime.
	M. TIFFENEAU . . .	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	G JULIA	Mathématiques générales.
	N.	Géographie physique.
	E. HÉROUARD	Zoologie.
	Rémy PERRIER . . .	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	G. SAGNAC	Physique théorique et physique céleste.
	E. PÉCHARD	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	V. AUGER	Chimie analytique.
	M. GUICHARD	Chimie minérale.
	A. GUILLET	Physique.
	C. MAUGUIN	Minéralogie.
	L. BLARINGHEM . .	Botanique.
	A. MICHEL-LÉVY . .	Pétrographie.
Secrétaire.	Daniel TOMBECK.	

AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

A L'UNIVERSITÉ DE JASSY (ROUMANIE)

AVANT-PROPOS

Ce travail, œuvre de longues recherches personnelles, je le dois à un concours de circonstances qu'il est nécessaire de rappeler ici.

C'est d'abord l'ACADÉMIE ROUMAINE qui, en m'accordant une bourse, m'a permis de venir poursuivre mes études à Paris.

La bienveillance des professeurs, la richesse des collections du Muséum et l'atmosphère qui y règne ont beaucoup facilité mon travail.

L'accueil trouvé dans les familles françaises m'a évité des soucis qui auraient pu entraver mes études.

Aussi je tiens à exprimer ici toute ma reconnaissance à ceux qui m'ont aidé au cours de ces recherches.

Je remercie tout particulièrement MM. les professeurs ANTHONY et VERNEAU pour leurs conseils éclairés et pour l'intérêt qu'ils m'ont toujours porté.

Je remercie également MM. les professeurs PÉREZ et WINTREBERT pour les conseils utiles qu'ils m'ont donnés.

A M. le préparateur P. CLAVELIN qui m'a mis avec tant de complaisance au courant du laboratoire et m'a aidé de son expérience, j'adresse toute ma sympathie.

A MM. les PROFESSEURS DE L'UNIVERSITÉ DE JASSY (Rou-

manie) qui ont formé ma préparation scientifique et qui se sont intéressés de près à mes recherches j'exprime toute ma gratitude.

A ma femme qui avec de trop grands sacrifices m'a donné la possibilité de me consacrer exclusivement à mes études j'exprime la plus profonde reconnaissance.

Je suis heureux de pouvoir exprimer ici ma sympathie et ma gratitude à M. l'instituteur JAMES et à sa famille qui m'ont aidé dans les moments les plus pénibles.

ÉTUDE DU SQUELETTE DU BRAS ET DE L'AVANT-BRAS CHEZ LES PRIMATES

INTRODUCTION

Une étude morphologique raisonnée ne peut pas se limiter à une simple analyse comparative des formes, elle doit s'efforcer d'aboutir à leur explication causale.

Les interprétations classiques qui font appel au degré de parenté des formes et à l'atavisme sont dépourvues de toute vertu explicative.

Toutes les fois que dans un corps vivant nous pouvons distinguer une *forme*, c'est-à-dire la réalisation d'une figure d'équilibre, nous avons à considérer, d'une part la figure réalisée et d'autre part les conditions de son équilibre. Ainsi toute étude morphologique doit être à la fois géométrique et mécanique.

Comme les changements dans les formes organiques sont des changements dans les conditions de leur équilibre, il s'ensuit qu'une même forme organique peut adopter plusieurs figures d'équilibre. En mécanique animale il faut souligner ce fait essentiel que tout mouvement représente un changement de forme. Le mouvement n'a pas une existence en lui-même, il est produit par des

relations de forces et de masses et il est toujours défini par un système de références.

Donc, pour qu'une forme puisse subsister en tant que forme, il faut qu'elle réponde à des conditions statiques définies et pour qu'un mouvement s'y produise il faut une modification dans l'état initial d'équilibre. Ce n'est nullement le mouvement qui provoque cette modification puisqu'il est lui-même un résultat, mais c'est l'intervention d'une ou de plusieurs forces qui peut avoir une action morphogénique.

Étudier les rapports qui s'établissent entre les éléments constitutifs de la forme et les *facteurs morphogéniques* qui la modifient, c'est en même temps étudier les conditions de son équilibre et celles de son mouvement, car l'explication de la forme est la *justification mécanique de son mode d'existence*.

Une forme en mouvement est une succession de figures d'équilibre aboutissant à un déplacement. Il est clair que cette série de positions successives de la forme offre aux forces agissantes de nouveaux points d'appui, d'autres angles et d'autres bras de levier.

Pour mesurer l'effet d'une action morphogénique, il faudrait connaître, d'une part, la résistance du matériel constitutif et, d'autre part, l'intensité et la durée d'action de la force.

Une forme *au repos* représente une figure précise d'équilibre réalisée dans des conditions telles que le minimum de dépense d'énergie est assuré pour la forme. Aussi l'étude de ces conditions est un complément nécessaire de l'étude morphogénique en général.

Jusqu'à présent, lorsque, en morphologie animale, on a voulu se placer au point de vue déterministe, on s'est

borné, dans la plupart des cas, à essayer d'expliquer la forme par le mouvement. Les considérations qui précèdent servent à montrer l'insuffisance d'une pareille entreprise. En réalité, seules, les *conditions* et la *quantité de mouvement* peuvent fournir la base d'une explication causale.

En outre, la manière classique d'envisager les choses peut conduire à une interprétation finaliste des phénomènes de la vie. Du fait qu'une machine industrielle quelconque est construite d'avance *en vue* d'un travail mécanique *voulu*, il ne s'ensuit pas que la machine animale soit aussi construite *en vue* d'un mouvement prédéterminé.

Le fonctionnement d'une machine animale se fait en raison de ses rapports de constitution, il est un produit entièrement conditionné et par conséquent ne comporte aucune espèce de finalité.

Par sa célèbre expérience sur la résection du calcanéum d'un lapin, MAREY ouvrit le premier la voie aux recherches explicatives en morphologie. Son expérience montre d'une façon catégorique qu'en modifiant d'abord les relations d'équilibre d'une forme, les conditions du mouvement changent et, par la suite, les facteurs directement intéressés (muscle et tendon) modifient leurs rapports réciproques. MAREY devait donc être aussi le premier qui parlât des « lois morphogéniques¹ » en biologie.

Un autre auteur, qui a toujours eu le mérite d'insister sur ce qu'on pourrait appeler les relations réciproques ou le conditionnement topographique des organes est le professeur VIALLETON. Dans son dernier livre², sur les membres et les ceintures des Vertébrés tétrapodes, il a

1. MAREY, E. J. Des lois de la morphogénie chez les animaux. *Arch. de Physiol. norm. et pathol.*, 1889.

2. VIALLETON, L. Les membres et les ceintures des vertébrés tétrapodes, etc. Doin, Paris, 1924.

été amené à interpréter autrement qu'on ne l'avait fait, bon nombre d'*attitudes* des membres.

Si MAREY doit être considéré comme le créateur de la morphogénie, la systématisation des faits nombreux qui se rattachent à cette discipline, complément indispensable de la morphologie, a été entreprise, pour la première fois, dans son récent livre sur le « Déterminisme morphologique¹ » par le professeur ANTHONY.

Le mérite de ce livre, dont nous ne pouvons peut-être pas encore juger toute la portée, réside dans l'introduction de l'élément « *facteurs morphogéniques* » dans l'étude des formes animales.

Ces facteurs pris en considération permettront :

1° de faire sur les *caractères* morphologiques des analyses quantitatives qui les feront envisager comme *phénomènes* morphologiques;

2° d'appliquer aux formes organiques la théorie des causes actuelles;

3° de sortir du cercle vicieux morpho-fonctionnel, en abandonnant des constatations stériles comme *l'harmonie entre la forme et la fonction*. Il est certain que cette harmonie est la condition « *sine qua non* » de toute machine, mais elle ne donne pas l'explication de son mode de formation.

Le présent travail traite du squelette du bras et de l'avant-bras chez les Primates. Il constitue un essai d'explication de la forme d'ensemble des deux segments du membre supérieur et de chaque os pris isolément. Les formes osseuses considérées sont analysées seulement dans

1. ANTHONY, R. Le déterminisme et l'adaptation morphologiques en biologie animale. Doin, Paris, 1923.

l'état adulte qui représente, au point de vue de l'action des facteurs morphogéniques, une période d'état.

Les observations faites sur les os ont été complétées par la dissection de plusieurs bras de singes et d'hommes. J'ai eu de cette façon la possibilité d'analyser sur un même individu la dépendance qui existe entre le muscle et l'os.

Si les conditions d'équilibre et de travail mécanique du membre supérieur peuvent éclairer les données principales de la forme des os, leur *relief* exige la considération de l'activité musculaire comme facteur morphogénique indépendant.

Pour essayer une interprétation mécanique des formes je me suis partout placé à un point de vue actualiste, en ne tenant compte que des phénomènes et de leurs causes possibles. J'ai fait abstraction des pseudo-facteurs comme *race*, *sexe* et *âge* qui sont des résultats et demandent eux-mêmes à être interprétés.

Les méthodes employées jusqu'à présent dans l'étude du squelette sont, pour la plupart, d'ordre *statistique*. Ces méthodes peuvent donner une idée de la fréquence d'un phénomène, mais ne peuvent pas l'expliquer.

Aussi me suis-je servi avec prudence de la méthode statistique et ai-je beaucoup utilisé, par contre, la comparaison des *variations individuelles*.

De par la nature même des phénomènes organiques, lorsque ceux-ci se laissent observer sur plusieurs individus, ils constituent toujours une *sériation*. Suivre la variation d'un phénomène dans un des deux sens de la série, c'est le moyen le plus sûr de lui attribuer une cause précise.

C'est certainement une voie différente de celle qui con-

siste dans l'emploi des *moyennes* et le rejet de l'*écart individuel* comme inutilisable.

Il est peut-être nécessaire d'ajouter que j'ai uniquement essayé, dans ce travail, d'éclairer les conditions dans lesquelles se réalise la forme et que je me suis défendu d'entrer dans des conjectures trop générales qui auraient pu m'entraîner dans des domaines étrangers à la morphogénie.

La seule généralité qui s'impose avec évidence et qui m'a semblé mériter des développements particuliers, c'est l'existence de divers types mécaniques d'adaptation.

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE CRITIQUE

L'étude du squelette du membre supérieur chez les Primates a été envisagée de diverses façons par de nombreux anatomistes. La plupart d'entre eux se sont bornés uniquement à la description des os ; d'autres, beaucoup plus rares, ont essayé de donner l'explication de certaines particularités morphologiques. Je ne citerai ici que ceux qui présentent pour mon travail un intérêt direct. Je me suis donc abstenu de mentionner les travaux uniquement descriptifs.

Grâce au transformisme et surtout à la doctrine lamarckienne, la seconde moitié du siècle dernier a vu naître toute une efflorescence de travaux sur les transformations du squelette des membres en particulier. Les notions d'*homologie* et d'*analogie* elle-mêmes, ont surtout été appliquées à cette catégorie spéciale d'études. L'humérus principalement a été l'objet d'une attention spéciale à cause de l'hypothèse controversée de la *torsion humérale*. Depuis VICQ D'AZIR (51, 1778)¹ qui peut être considéré comme précurseur, jusqu'aux contributions toutes récentes de GRÜNEWALD (14, 1919) et de ROUFFIAC (39, 1924), ce problème ne paraît pas être encore élucidé.

1. La parenthèse indique un renvoi à la bibliographie.

Si au point de vue mécanique le nom même de *torsion* est sans doute impropre, il faut reconnaître qu'au point de vue morphologique nous avons là un caractère complexe qui en tient d'autres sous sa dépendance et qui mérite par conséquent d'être pris en considération.

Une étude d'ensemble sur l'humérus dans les espèces et dans l'homme a été entreprise pour la première fois par BERTAUX (3, 1891). Sauf la question de la torsion humérale qui y prend quelques développements, les autres caractères morphologiques sont assez sommairement traités.

On doit à E. FISCHER (11, 1905) un mémoire détaillé sur les variations des os de l'avant-bras chez les Primates. Ce travail qui témoigne souvent d'une observation excellente des faits anatomiques est malheureusement dépourvu de toute considération explicative.

D'une façon générale on peut appliquer la même critique à beaucoup de travaux dits anthropologiques qui, malgré leur aspect ostéométrique, n'arrivent pas à montrer aisément leur supériorité sur les anciens travaux purement descriptifs. De plus, ces travaux, par leur tendance peut-être exagérée à se servir des *moyennes*, lesquelles ne donnent aucune idée ni sur les limites, ni sur le sens des variations, sont quelquefois de nature à jeter de la confusion dans l'appréciation objective d'un caractère donné. Il est inutile de mesurer une disposition morphologique d'un os, si l'on n'envisage pas les causes qui la font varier. Enfin, vouloir établir des sériations génétiques sur des moyennes avant de connaître la véritable sériation phénoménale, c'est compléter par l'imagination les lacunes de nos connaissances et l'imperfection de nos méthodes de travail.

MANOUVRIER fut le premier qui sut tirer le meilleur parti de l'ostéométrie. Ses recherches sur la *platycnémie du tibia*, sur la *torsion humérale*, et la *perforation olécraniennne* ont prouvé la nécessité et l'utilité des mensurations. Des travaux du même genre sur diverses collections d'os humains, où ceux du bras et de l'avant-bras font l'objet d'une étude assez étendue, ont été faits successivement par MANOUVRIER et ANTHONY (26, 1907), ANTHONY et RIVET (142, 1908), RIVET (36, 1909), Fr. SCHWERZ (44, 1917) et quelques autres. Par contre, dans l'« Osteometria portugueza », monographie toute récente (31, 1923), d'une valeur documentaire incontestable, MENDES CORRÊA se sert uniquement de la méthode anthropométrique des moyennes.

Il existe plusieurs mémoires ou monographies sur des parties isolées du squelette du bras et de l'avant-bras. BUGNION (55, 1901), dans une étude sur l'articulation de l'épaule, a fait de très intéressantes observations sur la forme de la tête de l'humérus chez quelques singes et chez l'homme. CUÉNOD (60, 1888) et HULTKRANTZ (144, 1897) ont fait, le premier, des recherches surtout descriptives, le second des recherches mécaniques sur l'articulation du coude dans quelques types de vertébrés. Le travail de HULTKRANTZ constitue, pour l'anatomie du coude de l'homme, un apport sérieux, utile à tout essai de morphogénie osseuse.

MALL (27, 1906) et NAGEL (34, 1907) ont fourni des études entièrement anthropométriques sur l'angle externe du coude chez l'homme. VERNEAU (49, 1903) a établi pour la première fois l'*indice de platôlénie* du cubitus, indice qui exprime l'aplatissement de la moitié supérieure de la diaphyse. Un travail du même ordre sur les propor-

tions du corps des Primates a été entrepris par MOLLISON (33, 1911); on y trouve de nombreux renseignements sur la longueur des segments osseux et sur les valeurs de l'indice *radio-huméral*.

La littérature anatomique offre encore une autre série de travaux, qui se rattache à la mécanique osseuse et qui touche plus ou moins directement les os du membre supérieur. La majorité de ces travaux, se rapportant uniquement à l'espèce humaine ou à un nombre trop réduit d'espèces animales, accordent à la variation morphologique des limites très restreintes et donnent à l'action des facteurs morphogéniques une monotonie qui est en désaccord avec les faits. On peut rappeler ici les premières recherches de J. GUÉRIN et de HÜTTER sur les conditions d'établissement des surfaces articulaires normales et pathologiques. Leurs observations ont été confirmées par REYHER, HENKE, MOLL, LESSHAFT, COPE, etc...

Sur les causes qui provoquent la forme des os, et particulièrement celle des surfaces articulaires, les premières contributions sont celles de L. FICK (103, 1845). Il émet l'opinion que les muscles déterminent le polissage de ces surfaces d'une façon strictement mécanique. HENKE (112, 1863) apporte quelques précisions sur la nature géométrique des surfaces articulaires. R. FICK (104, 1890) continue ces recherches et essaye de confirmer les vues de ses prédécesseurs par la voie expérimentale. Il estime que dans une articulation la concavité est toujours rapprochée de l'insertion musculaire et la convexité en est éloignée. Il réalise expérimentalement des surfaces condyliennes, et des surfaces en selle. Peu de temps après, TORNIER (161, 1895) veut appuyer les idées de Fick sur les faits de l'anatomie comparée, seulement chez lui le pro-

blème purement mécanique s'efface devant le problème phylogénique. Mais s'il est possible en effet d'établir une série d'étapes morphologiques pour un caractère donné et en raison d'un travail mécanique donné, cela ne veut pas dire qu'elles s'obtiennent réellement les unes des autres, à la suite de ce travail ; soutenir le contraire ce serait faire abstraction de la vraie mécanique de la croissance des os. Il est difficile de comprendre dans l'hypothèse de FICK pourquoi l'ossification procède par points et, d'autre part, comment s'explique la présence des renflements articulaires dans des tiges rigides dont les extrémités devraient être seulement polies.

Ce qu'il faut rechercher ce sont précisément les compatibilités entre les conditions mécaniques du développement et l'existence de la forme organique. Voilà pourquoi une place spéciale doit être accordée à deux études d'ANTHONY, l'une sur l'*adaptation à la vie arboricole* (139, 1912) où les caractères anatomiques des Primates subissent une analyse approfondie, et l'autre déjà mentionnée dans l'Introduction et qui a pour titre le *déterminisme morphologique* (141, 1923). Ce dernier ouvrage constitue le point de départ indispensable pour les recherches du genre de celles que l'auteur a poursuivies.

Les travaux de VALLOIS sur certains points de l'anatomie du membre inférieur des Primates offrent l'intérêt d'une étude précise sur les différents modes d'adaptation de cet ordre.

Il faut encore ranger, dans la catégorie des travaux morphogéniques, ceux de ROUX et WOLFF. En traitant la transformation des os et leur adaptation fonctionnelle, ils établissent la plasticité du tissu osseux d'une façon définitive.

Enfin les notes de RÉGNAULT sur la morphogénie osseuse et musculaire doivent être aussi signalées.

L'Histoire que je viens de tracer se résume aisément si l'on distingue, dans la littérature anatomique, trois catégories de travaux sur les os des membres en général et sur les os du bras et de l'avant-bras en particulier :

La première, celle des travaux descriptifs, tout en étant la plus ancienne, n'est pas la plus complète et à l'heure actuelle il manque encore une analyse détaillée de l'ostéologie comparée des Primates. On peut même remarquer que la myologie du membre supérieur a été à ce point de vue avantagée.

La seconde catégorie est celle des travaux ostéométriques, plus récente que la première et aussi plus riche grâce au développement des études anthropologiques. J'ai montré comment la plupart de ces travaux font double emploi avec la méthode descriptive sans arriver toujours à la remplacer.

La troisième catégorie, presque aussi vieille que la première, est celle des travaux mécaniques. Ceux-ci, très nombreux, sont en bonne partie inutilisables à cause de la trop grande simplification qu'ils apportent dans l'interprétation des phénomènes morphologiques.

Il est donc dans l'ordre historique et logique des choses que ce que j'ai appelé les travaux morphogéniques, venus en dernier lieu, expriment non seulement la plus récente des méthodes de recherches, mais le renouvellement même de la mécanique animale, en la basant sur la variation et l'adaptation morphologiques sans la considération desquelles aucun essai d'explication ne pourrait aboutir.

CHAPITRE II

LE MATÉRIEL D'ÉTUDE

Le tableau ci-dessous renferme les genres de Primates dont les espèces, en nombre variable, ont servi de matériel d'étude. Toutes les espèces étudiées proviennent des collections des laboratoires d'Anatomie comparée et d'Anthropologie du Muséum National d'Histoire naturelle.

Seuls les os en parfait état de conservation et sans aucune déformation pathologique ont été choisis pour l'étude.

Toutes les espèces consignées dans les tableaux qui suivront, ont fourni la documentation principale de ce travail.

Plusieurs genres de singes qui n'y figurent pas et quelques-unes de leurs espèces, de même qu'un bon nombre d'autres mammifères, ont été aussi examinés, mais seulement dans un but de vérification.

Le nombre d'individus étudiés dans chaque espèce varie entre 1 et 10.

Pour l'homme mon analyse a porté sur plus d'une trentaine d'Européens, plus d'une vingtaine de Jaunes (Japonais) et une vingtaine de Nègres d'Afrique.

Un nombre variable d'os de Patagons, d'Australiens, de Négrilles, d'Indiens d'Amérique du Sud, etc., ont aussi été passés en revue à titre de contrôle.

Il est inutile d'ajouter que toutes les observations et tous les raisonnements ont été basés sur des ensembles osseux brachiaux-antibrachiaux provenant d'un même individu et jamais sur des os isolés.

ORDRE	SOUS-ORDRES	FAMILLES	SOUS-FAMILLES	GENRES
Primates.	Tarsioides.	Tarsiidae.	»	Tarsius.
	Lemuroidea.	Lemuridae.	Chiromyinae. Lemurinae. Lorisinae.	Chiromys. Lepilemur. Lemur. Perodicticus. Nycticebus.
	Simioidea.	Hapalidae.	Hapalinae.	Hapale. Midas.
		Cebidae.	Cebinae. Mycetinae.	Cebus. Ateles. Mycetes.
		Cercopithecidae.	Cercopithecinae. Semnopithecinae.	Cercocebus. Cercopithecus. Cynocephalus. Theropithecus. Hamadryas. Macacus. Semnopithecus. Colobus.
		Hylobatidae.	»	Hylobates.
		Simioïdae.	»	Simia. Anthropopithecus. Gorilla.
		Hominidae.	»	Homo.

CHAPITRE III

DONNÉES MORPHOLOGIQUES L'ÉTUDE DES OS.

I. — LONGUEUR ABSOLUE DES SEGMENTS OSSEUX INDICE RADIO-HUMÉRAL

Les longueurs maxima des segments osseux (humérus, cubitus et radius) ont été mesurées à l'aide de la planche ostéométrique de BROCA.

Les chiffres inscrits dans le tableau qui suit expriment les dimensions comprises : entre le point le plus haut de la tête articulaire et le point le plus bas de la trochlée, pour l'humérus; entre le point le plus haut de l'olécrâne et la pointe extrême de l'apophyse styloïde, pour le cubitus; et entre le point le plus élevé du bord de la cupule et la pointe extrême de l'apophyse styloïde, pour le radius.

Les trois premières colonnes contiennent les longueurs maxima des segments osseux, lorsque l'espèce étudiée comprend un seul individu, et les valeurs-limites de ces mêmes longueurs, lorsque l'espèce comprend plusieurs individus. Ce serait surcharger inutilement le tableau que de donner ici les chiffres obtenus chez tous les individus.

TABLEAU I

ESPÈCES	LONGUEURS MAXIMA			INDICE Radio-Hum.
	Humérus. mm.	Radius. mm.	Cubitus. mm.	
<i>Tarsius spectrum</i> , PALLAS.	29	37	41	127,5
<i>Lepilemur nigricaudatus</i> , GRANDIDIER.	50	57,5	64,5	115
<i>Cheiromys madagascariensis</i> , E. GEOFF.	56-89	57-89,5	65-107	100,5-101,7
<i>Lemur mongoz</i> , L.	85	84,5	96,5	99,5
— <i>varius</i> , Is. GEOFF.	84-99,5	92-99	104-116	99,5-109,5
— <i>catta</i> , L.	86-91	90-99	101-113	104-112
— <i>albigannus</i> , Is. GEOFF.	69,5	72	83	103,6
— <i>nigerrimus</i> , SCLAT.	75-77	81,5-88,5	94,5-99	108,7-114
<i>Perodicticus potto</i> , BOSMAN.	67	64,5	73	96
<i>Nycticebus tardigradus</i> , L.	69-73	70-70,5	76-78	95,8-101,4
— <i>javanicus</i> , E. GEOFF.	61,5	62	69,5	100,8
<i>Midas ædipus</i> , L.	51,5	48	55	93,2
— <i>rosalia</i> , L.	61	57,5	66,5	94
<i>Hapale penicillatus</i> , E. GEOFF.	46	42	48	91,3
<i>Cebus</i> sp. ?	108-122	99-116	111-129,5	91,6-96,1
<i>Myocetes seniculus</i> , L.	147-148	130-134	148,5-149	88,4-89
<i>Ateles paniscus</i> , L.	210	221,5	?	105
— <i>vellerosus</i> , Is. GEOFF.	218	225	242,5	103

Erythrocebus patas, SCHREB.	129	184-197,5	205-217,5	103,6-110
Cercopithecus cephus, L.	127	167-186,5	119	96
Cynocephalus cynocephalus, E. GEOFF.	110,5	171-172	190-199	106-107
— babuin, DESM.	157	160	179	101,9
Theropithecus gelada, RÜPP.	182	192	211	105,5
Hamadryas hamadryas, L.	132	131	148	99
Macacus rhesus, AUDEB.	139-155	128,5-152	144-177	92-98
— arctoides, Is. GEOFF.	176	172	193	97,8
Colobus guereza, GRAY.	147	142	158	96,5
Sennopithecus maurus, SCHREB.	144	140,5	155	97,5
— Gervaini, M. EDW.	113	105,5	116	93
— nasica, F. CUV.	187,5	190	205	101,3
— nemaeus, L.	200-211	210-226,5	226,5-244	105-107
Hylobates syndactylus, DESM.	236-291	263-378	266,5-335	111-112
— leuciscus, CANTOR.	240,5	262,5	268	109
— Rafflesii, Is. GEOFF.	221	232,5	239	105
Simia satyrus, L.	216-365	206-371	211,5-388	93,6-101,6
Anthropopithecus troglodytes, L.	284-353	260-303	269-318	80-94,5
Gorilla gorilla, WYMAN	276-412,5	210,5-337	220,5-357	76-81,6
— gina, Is. GEOFF.	438	337	359	76,9
Homo sapiens, L. (Blancs, Europe)	264-350	196-249	207-265	69-75,5
— — (Jaunes, Asie)	258-312,5	195-245	210-258,5	71-79,8
— — (Nègres, Afrique)	271-339,5	219-296	239-318	76,5-87

La quatrième colonne contient les valeurs de l'*indice radio-huméral* calculé d'après la formule :

$$I = \frac{R \times 100}{H}$$

où R et H représentent respectivement les longueurs maxima du radius et de l'humérus. Cet indice exprime l'allongement proportionnel de l'avant-bras par rapport au bras. Un indice plus petit que 100 indique un radius moins long que l'humérus ; un indice supérieur à 100 indique un radius plus long que l'humérus.

La question de l'allongement réel du radius et de l'humérus par rapport au tronc sort du cadre de ce travail.

Du tableau qui précède se dégagent les constatations suivantes :

Les valeurs extrêmes des longueurs maxima des trois segments osseux étudiés présentent, chez les Anthropoïdes et chez l'Homme, de plus grands écarts que chez les autres Primates.

Les écarts entre les valeurs obtenues pour les trois os des Anthropoïdes et de l'Homme se laissent systématiser de la façon suivante :

	HUMÉRUS	RADIUS	CUBITUS
	Écart en millimètres.	Écart en millimètres.	Écart en millimètres.
Gibbon	55	65	68,5
Orang	149	165	177
Chimpanzé	69	43	49
Gorille	136,5	126,5	136,5
Européens	86	53	58
Japonais	54,5	50	48,5
Nègres (Afrique)	68,5	77	79

Les très grands écarts chez l'Orang et chez le Gorille s'expliquent, dans une certaine mesure, par le fait que la limite inférieure des dimensions mesurées correspond à des individus assez jeunes où les épiphyses sont incomplètement soudées, mais il faut remarquer que, chez l'Homme et le Chimpanzé, des individus plus jeunes encore offrent des dimensions dépassant la limite inférieure.

Les Gibbons, les Orangs et les Nègres d'Afrique présentent des écarts plus grands pour les os de l'avant-bras que pour l'os du bras. Par contre, les Chimpanzés, les Gorilles, les Japonais et les Européens présentent les écarts les plus grands pour l'os du bras.

Or, dans le premier de ces deux groupes, on constate un *allongement* relatif de l'avant-bras, tandis que dans le second on constate un *raccourcissement* relatif de ce même segment. Dans les deux cas l'étendue de variation est toujours grande lorsque le segment considéré s'allonge et elle diminue lorsque ce segment se raccourcit.

En ce qui concerne les Européens, il est intéressant de faire un rapprochement entre les chiffres du précédent tableau et ceux obtenus, sur des séries très nombreuses, par Fr. SCHWÉRTZ (44) qui donne pour l'humérus des Alamans du cimetière d'Augst (Suisse) les valeurs extrêmes de 253-371 millimètres avec un écart de 118 unités et pour le radius des variations de 175-255 millimètres avec un écart de 80 unités; et ceux obtenus par MENDES CORRÊA (31) qui donne pour l'humérus des Portugais des valeurs extrêmes comprises entre 257-346 millimètres avec un écart de 89 et, pour le radius, des variations de 191-260 millimètres avec un écart de 67.

Les résultats de ces deux auteurs confirment donc la constatation précédente à savoir, que les Européens pré-

sentent une étendue de variation plus grande dans les longueurs maxima de l'os du bras que dans celles des os de l'avant-bras (radius notamment).

Le calcul de l'*indice radio-huméral* m'a donné des résultats qui, partout où ils peuvent être comparables, se rapprochent de ceux obtenus par MOLLISON (33) dans son travail sur les proportions du corps chez les Primates.

Le mode de répartition de l'indice radio-huméral sur l'ensemble de cet ordre suggère l'idée que ce sont les diverses modalités de l'adaptation à la vie arboricole et terrestre qui règlent les rapports entre les longueurs des deux segments osseux du membre antérieur.

Cependant, pour juger de la validité d'une pareille assertion, il faudrait au préalable avoir analysé le mécanisme adaptatif en lui-même et son mode d'établissement.

L'adaptation est la conséquence de l'action des facteurs multiples, et, il est illogique de prendre le produit pour la cause, ceci étant vrai pour tous les cas où nous voulons aboutir à une explication causale.

Dans la partie morphogénique de ce travail la question si complexe des variations de l'indice radio-huméral sera mise en rapport avec les facteurs morphogéniques qui seuls peuvent l'éclairer.

Ici, je me contenterai de faire remarquer que l'avant-bras, le plus long par rapport au bras, ou ce qui revient au même, l'indice radio-huméral le plus élevé (127,5) se trouve, chez le *Tarsius*, coureur et sauteur arboricole excellent, et l'avant-bras le plus court (Indice : 69) chez l'Homme qui est adapté à la marche bipède et à la station verticale. Les singes cynomorphes adaptés, pour la plupart, à la marche quadrupède sur le sol ont un avant-bras plus long que le bras, leur indice variant de 99-110

et chez le *Lemur Catta*, lequel, parmi les Makis, affirme une tendance à la marche quadrupède, cet indice s'élève jusqu'à 112.

La suspension arboricole provoque une augmentation du membre antérieur tout entier, l'avant-bras étant plus allongé que le bras, comme chez l'*Ateles* dont l'indice est de 103-105 et chez le Gibbon, dont l'indice est de 105-112. En échange, des arboricoles exclusifs, comme la majorité des singes américains possèdent un indice plus réduit (88,4-96,1), c'est-à-dire un avant-bras plus court que le bras.

Nous verrons dans la seconde partie de ce travail comment pourraient s'interpréter les écarts entre les indices dans les espèces et d'un groupe à l'autre.

Il faut aussi ajouter à l'étude de cet indice celle de sa fréquence.

Ainsi, chez l'Homme, l'indice radio-huméral varie de 69-87, l'indice le plus bas se trouvant chez les Européens et le plus élevé chez les Nègres. La limite inférieure des Japonais (71) entre dans les indices des Européens et la limite inférieure des Nègres (76,5) entre dans les indices des Japonais.

Mais si nous considérons la fréquence de l'indice, nous constatons :

Sur 32 Européens	20 fois	l'indice varie de 69-73	et 12 fois	de 73-75,5
— 21 Japonais	7 —	—	71-75 et 14	— 75-79,8
— 20 Nègres	6 —	—	76,5-80 et 14	— 80-87

Cela veut dire que le raccourcissement du squelette anti-brachial est fréquent chez les Européens; au contraire, l'allongement de ce squelette est fréquent chez les Japonais et surtout chez les Nègres. Ceux-ci présentent

fréquemment un squelette anti-brachial beaucoup plus allongé que celui des Japonais.

II. — ROBUSTICITÉ DES OS. INDICE DE ROBUSTICITÉ

La robusticité des os est une donnée fondamentale qui tient sous sa dépendance les autres caractères morphologiques. Son étude devrait être complétée par celle du poids des os. Cette dernière étude ne pourrait être basée que sur des os frais les quels, malheureusement, se récoltent avec assez de difficultés.

L'indice de robusticité a été calculé pour chaque os selon la formule :

$$R = \frac{C \times 100}{L}$$

où *C* représente la circonférence minima de l'os¹ et *L* sa longueur maxima.

Selon qu'il est plus grand ou plus petit cet indice exprime la massivité ou la gracilité des os.

Une lecture attentive du tableau II, page 24, conduit aux constatations suivantes :

Les indices de robusticité *humérale* les plus grands se trouvent chez l'*Hapale* (30, 4), chez le *Lepilemur* (30), chez le *Tarsius* (29, 3) et les plus petits chez les *Gibbons* (12, 1) et les *Ateles* (15, 2), c'est-à-dire que les deux extrêmes de l'indice se rencontrent chez des espèces arboricoles, capables, toutes, d'une grande mobilité.

Mais tandis que les humérus les plus robustes se trou-

1. La circonférence minima a été mesurée immédiatement au-dessous du V deltoïdien, pour l'humérus ; immédiatement au-dessous de la tubérosité bicipitale, pour le radius et immédiatement au-dessus de l'épiphyse inférieure, pour le cubitus.

vent chez des grimpeurs et des sauteurs très agiles chez lesquels les mouvements de force dominent ; les humérus les plus graciles se rencontrent chez des singes qui se suspendent aux branches par des voltes, ou autrement dit, par des mouvements de grande amplitude.

Les espèces trapues comme les *Cheiromys*, les *Pérodietiques*, les *Mycetes* possèdent forcément des indices de robusticité humérale élevés.

Les singes adaptés à la marche quadrupède ont un indice huméral élevé se rapprochant plus ou moins de celui des sauteurs et variant de 21-29, 3.

L'adaptation à la marche bipède fait diminuer l'indice de robusticité humérale dans la mesure de la libération du membre supérieur de son contact avec le sol. Ainsi les plus forts indices se trouvent chez les Chimpanzés (25, 6) et chez les Gorilles (25, 1) tandis que les plus faibles chez l'Homme (16, 5). Chez celui-ci, l'Européen présente fréquemment un indice huméral de 19-20, le Nègre un de 17-19 et le Japonais en présente un supérieur à 22.

Par conséquent la massivité des humérus des Japonais et la gracilité des mêmes os chez les Nègres sont une fois de plus confirmées.

Les indices de robusticité de l'humérus sont, sauf chez l'Homme, toujours plus grands que ceux du radius et les indices du radius sont toujours plus grands que ceux du cubitus.

La proportion dans laquelle l'indice de l'humérus dépasse celui du radius et l'indice du radius celui du cubitus est d'une grande importance.

Pour apprécier ce fait nous n'avons qu'à regarder les écarts entre les indices des trois os. Les plus grands

TABLEAU II

ESPÈCES	INDICES DE ROUSTICITÉ		
	Huméral.	Radial.	Cubital.
<i>Tarsius spectrum</i> , PALLAS	29, 3	16, 2	12, 2
<i>Lepilemur nigricaudatus</i> , GRANDIDIER	30	17, 5	14, 7
<i>Lemur mongoz</i> , L.	28, 2	16, 5	13, 4
— <i>varius</i> , IS. GEOFF.	23, 5-25, 6	14, 7-16, 3	12, 8-14, 4
— <i>catta</i> , L.	24, 4-25	14, 6-15	11, 8-12, 8
— <i>albinus</i> , IS. GEOFF.	24, 4	16, 6	12, 6
— <i>nigerrimus</i> , SGLAT.	25, 3-28, 5	16, 5-17	12, 7-16, 1
<i>Cheiromys madagascariensis</i> , E. GEOFF.	28	17, 9	14, 9
<i>Perodicticus potto</i> , BOSMAN	28, 3	20, 9	14, 4
<i>Nycticebus tardigradus</i> , L.	23, 9-26	17-18, 8	11, 5-13, 1
— <i>javanicus</i> , E. GEOFF.	24, 3	16, 9	12, 2
<i>Midas ædipus</i> , L.	25, 2	17, 9	12, 7
— <i>rosalia</i> , L.	21, 4	17, 4	12, 1
<i>Hapale penicillatus</i> , E. GEOFF.	30, 4	19	14, 6
<i>Cebus</i> sp. ?	19, 9-21, 3	14, 6-16, 6	11, 1-11, 7
<i>Myrcetes seniculus</i> , L.	20, 9-23, 1	14, 9-18, 9	11, 4-14, 1
<i>Ateles paniscus</i> , L.	15, 2-16, 3	10, 8-15, 7	9-12, 3
— <i>vellerosus</i> , IS. GEOFF.	16, 5	12	7, 8

<i>Cercocebus fuliginosus</i> , E. GEOFF.	23,2 27-29,3	16 13,1-16,8 15,4 14 15,6 15,1 15,2 17,7-18 13	13,1 11,7-13,1 11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
<i>Erythrocebus patas</i> , SCHREB.	25,2 23,6 25,8 22	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
<i>Cynocephalus cynocephalus</i> , E. GEOFF. — babuin, DESM.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
<i>Theropithecus gelada</i> , Rüpp.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
<i>Hamadryas hamadryas</i> , L.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
<i>Macacus rhesus</i> , AUDEB.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
— arctoides, Is. GEOFF.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
<i>Colobus guereza</i> , GRAY	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
<i>Sennopithecus maurus</i> , SCHREB.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
— Gernaini, M. Edw.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
— nasica, F. Cuv.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
— nemaeus, L.	22,7 25,8-29 25,9 22,8 21,1 22,2 20,8 18-18,4	15,1 15,2 15,2 17,7-18 18,9 15,1 14,9 16,1 14,7 12,3	11,7 11 14 10,9 9,4 12,9-13,8 13
<i>Hylobates syndactylus</i> , DESM.	12,8-13,5 12,1 14	8,2-9,1 9,1 10,3	4,8-6,9 5,5 6,6
— leuciscus, CANTOR.	12,8-13,5 12,1 14	8,2-9,1 9,1 10,3	4,8-6,9 5,5 6,6
— Rafflesii, Is. GEOFF.	12,8-13,5 12,1 14	8,2-9,1 9,1 10,3	4,8-6,9 5,5 6,6
<i>Simia satyrus</i> , L.	18,2-22,7 20,6-25,6 22,9 21,5-25,1	11-14,5 15,3-19,2 18,5 17,6-18,7	8,5-13,9 9,8-14,7 15,4 11,4-15,4
<i>Anthropopithecus troglodytes</i> , L.	18,2-22,7 20,6-25,6 22,9 21,5-25,1	11-14,5 15,3-19,2 18,5 17,6-18,7	8,5-13,9 9,8-14,7 15,4 11,4-15,4
<i>Gorilla gina</i> , Is. GEOFF.	18,2-22,7 20,6-25,6 22,9 21,5-25,1	11-14,5 15,3-19,2 18,5 17,6-18,7	8,5-13,9 9,8-14,7 15,4 11,4-15,4
— gorilla, WYMAN.	18,2-22,7 20,6-25,6 22,9 21,5-25,1	11-14,5 15,3-19,2 18,5 17,6-18,7	8,5-13,9 9,8-14,7 15,4 11,4-15,4
<i>Homo sapiens</i> L., (Blancs, Europe)	16,8-23,5 20,7-22,5 16,5-23,5	16,3-22 17,9-22,7 13,3-19,7	13,6-17 12,2-18 10,7-14,6
— (Jaunes, Asie)	16,8-23,5 20,7-22,5 16,5-23,5	16,3-22 17,9-22,7 13,3-19,7	13,6-17 12,2-18 10,7-14,6
— (Nègres, Afrique)	16,8-23,5 20,7-22,5 16,5-23,5	16,3-22 17,9-22,7 13,3-19,7	13,6-17 12,2-18 10,7-14,6

écarts entre les indices de l'humérus et du radius, nous les trouvons chez les espèces ayant le plus fort indice de robusticité humérale (Tarsius, Lepilemur, la plupart des Lémurs, Hapale, les Cercopithèques).

Au contraire, les Gibbons, les Atèles, les Orangs et en partie les Chimpanzés ont des écarts minimes.

Le Gorille et surtout l'Homme ont une tendance à l'uniformité dans la robusticité de l'humérus et du radius. Ce phénomène est particulièrement accentué chez les Européens et les Jaunes où les écarts entre la robusticité humérale et radiale sont, très fréquemment, d'une seule unité et souvent inférieurs à l'unité. J'ai même trouvé deux cas d'égalité des deux indices chez un Japonais (21, 6) et chez un Cosaque (21, 4) et trois autres cas où l'indice de *robusticité radial l'emporte sur l'indice huméral*, chez une Française (Humérus, 16, 8, Radius 17, 4) et chez deux Japonais (l'humérus 21, 3 et 21, 5 et le radius respectivement 22 et 22, 2).

Le raccourcissement du radius, chez l'Homme, va donc de pair avec une augmentation considérable de la robusticité de cet os.

Dans toute la série des Primates, le cubitus apparaît comme un os gracile. Ce sont les Lémuriens, les Chimpanzés, les Gorilles et l'Homme qui possèdent le cubitus le plus robuste.

Les Nègres ont un indice de robusticité cubitale très faible qui atteint souvent celui des Anthropoïdes et plus particulièrement celui de l'Orang.

Les variations individuelles de l'indice de robusticité, dans les espèces analysées, démontrent que si l'on établissait un coefficient de variation de la robusticité des trois os, celui-ci serait *généralement* une constante, la

diminution ou l'augmentation des indices se faisant dans la même mesure pour tous les os.

Lorsque le coefficient de variation *n'est plus une constante*, on remarque, pour les os de l'avant-bras, des oscillations *en sens inverse*. Un radius trop robuste amène une diminution proportionnelle dans l'indice de robusticité cubital et inversement un radius trop gracile est accompagné d'un cubitus relativement robuste. Enfin, le rapprochement des tableaux 1 et 2³ impose la constatation suivante : toutes les fois qu'il y a allongement des segments osseux il y a aussi diminution de leur robusticité, et toutes les fois qu'il y a raccourcissement de ces segments il y a aussi augmentation de leur robusticité.

Ceci nous porte à conclure que l'allongement des segments osseux du membre antérieur se fait aux dépens de leur robusticité.

III. — INCURVATION DES DIAPHYSES.

ANGLES DE DÉVIATION. INDICES D'INCURVATION

Chez tous les Primates, à des degrés très variables, *l'humérus* présente une double incurvation de sa diaphyse. D'une façon générale, la première incurvation s'établit entre le tiers moyen et le tiers supérieur, ayant sa concavité en arrière, et la seconde s'établit entre le tiers moyen et le tiers inférieur et a sa concavité en avant. La partie moyenne de la diaphyse humérale restant droite, on peut, par rapport à celle-ci, considérer les parties extrêmes de la diaphyse comme des *déviation*s. Dans ce cas l'humérus présente deux *angles de déviation*, l'un supérieur et l'autre inférieur. Ces angles peuvent être

mesurés en appliquant directement sur l'os un rapporteur pourvu d'une branche mobile.

J'ai vérifié les angles obtenus par cette méthode avec ceux que l'on obtient en traçant au diagraphe le contour huméral. Les résultats des deux méthodes sont identiques. D'autre part, pour donner au phénomène sa véritable signification mécanique, il est préférable de lire sur le rapporteur les suppléments des angles obtenus par la mensuration directe (angles α et β dans la figure 1).

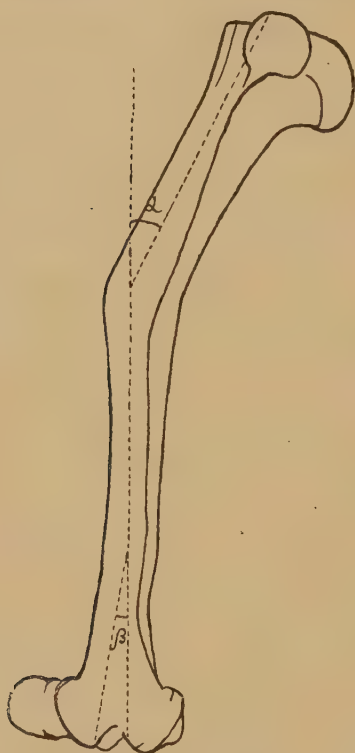


Fig. 1. — Humérus de *Macacus arctoides* (Collection Mus. Anat. Comp. A. 10930).

α = angle de déviation humérale supérieur. — β = angle de déviation humérale inférieur.

Ajoutons encore que la connaissance du niveau où se produisent les déviations sur la diaphyse est très importante au point de vue de la morphogénie osseuse.

Le *radius* présente dans sa partie proximale un angle que le *col* forme avec la moitié supérieure de la diaphyse. Cet angle a été mesuré par FISCHER (11.) qui lui a donné le nom d'*angle collo-diaphy-*

saire. Je l'ai aussi mesuré à l'aide du même rapporteur à branche mobile. Sa valeur est toujours celle d'un angle obtus plus ou moins fermé (fig. 2 et 3, γ). Il est indispensable de le mesurer sur la face de flexion

du radius et de tracer la direction des axes sur l'os avec un crayon.

Chez tous les Primates la diaphyse radiale est plus ou moins *incurvée*.

FISCHER (11..) a calculé le premier un *indice de courbure*

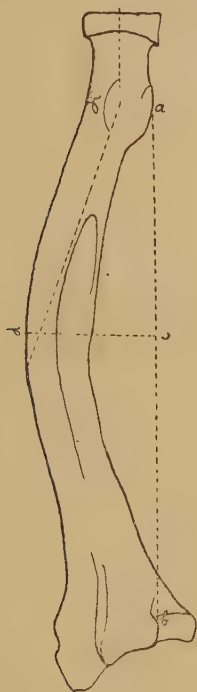


Fig. 2. — Radius d'Européen (Français. Collection Mus. Anthr. 769).

γ = angle du col. — ab = corde radiale. — cd = Hauteur de la courbe radiale.



Fig. 3. — Radius d'*Erythrocebus patas* (Collection Mus. Anat. Comp. 1886-270).

γ , ab et cd comme dans la figure précédente.

du radius. Seulement la courbure que cet auteur a étudiée ce n'est pas celle de la diaphyse elle-même, mais celle décrite par le bord de la crête interosseuse. Les deux courbures ne sont nullement deux phénomènes parallèles et elles ne sont pas provoquées par la même cause

mécanique. En réalité la face externe seule de l'os peut être utilisée pour la mesure de l'incurvation de la diaphyse. Comme on le verra plus loin, l'étude de la courbure radiale de FISCHER doit être jointe à celle de la forme de l'*espace interosseux*.

L'*indice d'incurvation* que j'ai calculé a été établi de la façon suivante : J'ai mesuré d'abord la longueur de la corde radiale (fig. 2 et 3, *ab*) à l'aide d'un compas glissière en fixant ses deux pointes, respectivement, au centre de la cavité sigmoïde radiale et au centre de la tubérosité bicipitale.

Ensuite j'ai mesuré la *hauteur* de la courbe diaphysaire, (fig. 2 et 3, *cd*) représentée par la perpendiculaire abaissée, sur la corde, du point le plus élevé de la face externe de l'os.

Pratiquement, pour avoir la hauteur de la courbe, on place le radius, avec sa face de flexion en bas, sur une planche horizontale divisée en millimètres et pourvue d'une paroi verticale. Il suffit d'appuyer en même temps la tubérosité bicipitale et les pointes de la cavité sigmoïde sur la paroi verticale et de promener une petite équerre sur la face externe de l'os, en l'arrêtant au point de convexité maxima, pour arriver à la lecture immédiate de la hauteur de la courbe sur la planche horizontale. — La cupule radiale doit toujours dépasser le bord libre des planches.

J'ai calculé l'indice d'incurvation *en multipliant la hauteur de la courbe par 100 et divisant le produit par la longueur de la corde*.

Le *cubitus* est décrit dans tous les traités d'Anatomie humaine comme ayant une forme en S et étant légèrement tordu sur son axe. Si on tient un cubitus d'homme

verticalement en main, l'olécrâne dirigé en haut et le bord postérieur vers soi, on observe facilement une incurvation supérieure de la diaphyse ayant sa concavité en



Fig. 4. — Cubitus d'Européen (Français, Coll. Mus. Anthr. 764).

α = angle de déviation cubitale supérieur. — β = angle de déviation cubitale inférieur.

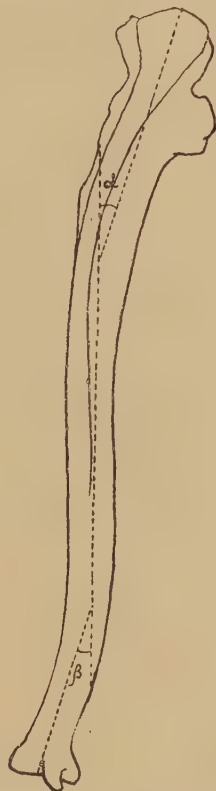


Fig. 5. — Cubitus de Nègre soudanais (Coll. Mus. Anthr. 17879).

α et β comme dans la figure précédente.

dedans et une autre inférieure ayant sa concavité en dehors (fig. 4 et 5).

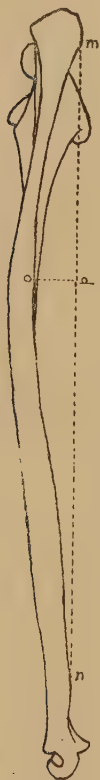
Ces deux incurvations sont situées à des niveaux très variables et peuvent être considérées, ainsi que dans le cas de l'humérus, comme des *déviation*s.

TABLEAU III

ESPÈCES	ANGLE de déviation humérale.		ANGLE du col radial.	INDICE d'incurvation radiale.	INDICE d'incurvation cubitale.	ANGLE de déviation cubitale.	
	Supér.	Infér.				Supér.	Infér.
<i>Tarsius spectrum</i> , PALLAS	4°	16°	162°	14,6	3,1	»	»
<i>Lepilemur nigricaudatus</i> , GRANDIDIER	11°	14°	154°	17,7	2,9	»	»
<i>Lemur mongoz</i> , L.	3°	12°	160°	15,2	2,7	»	»
— <i>varius</i> , Is. GEOFF.	11-19°	3-6°	159-164°	13,1-16°	3-3,6	»	»
— <i>catta</i> , L.	17-21°	4-6°	154-158°	13,9-17,3	5,7-6,4	»	»
— <i>albinus</i> , Is. GEOFF.	11°	9°	162°	14,8	2,8	»	»
— <i>nigerrimus</i> , SCLAT.	18-20°	2°-7°	163-166°	14,2-16,6	4-5,1	»	»
<i>Cheiromys madagascariensis</i> , E. GEOFF.	10-15°	12°-18°	173°	11-12,1	7,3	»	»
<i>Perodicticus potto</i> , BOSMAN.	10°	14°	177°	18	1,5	»	»
<i>Nycticebus tardigradus</i> , L.	16-19°	3-5°	170-173°	12,9-14,8	2,7-3,6	»	»
— <i>javanicus</i> , E. GEOFF.	11°	6°	174°	12,3	3,4	»	»
<i>Midas ædipus</i> , L.	18°	8°	157°	16,6	3,9	»	»
— <i>rosalia</i> , L.	13°	9°	154°	14,6	3,3	»	»
<i>Hapale penicillatus</i> , E. GEOFF.	17°	7°	156°	15,1	4,1	»	»
<i>Cebus</i> sp. ?	12-15°	6-14°	162-165°	12-13,4	4,1-4,8	»	»
<i>Mycetes seniculus</i> , L.	7-10°	10-12°	162°	13,7-14,7	0,7-1,2	»	»
<i>Ateles paniscus</i> , L.	5°	11°	167°	15-16,4	0,4	»	»
— <i>vellerosus</i> , Is. GEOFF.	7°	10°	165°	10,2	0,8	»	»

<i>Cercocebus fuliginosus</i> , E. GEOFF.	17°	3°	158°	11,7	4,5	»	»
<i>Erythrocebus patas</i> , Schreb.	22-28°	0-2°	160-162°	11,2-12,3	6,8-7,1	»	»
<i>Cynocephalus cephus</i> , L.	24°	2°	156°	16,6	7,7	»	»
<i>Cynocephalus cynocephalus</i> , E. GEOFF.	14-20°	8°	166°	11,6	5,7-6,8	»	»
— babuin, DESM.	24°	9°	166°	16,1	5,3	»	»
<i>Theropithecus gelada</i> , Rüpp.	16°	8°	169°	10,7	8,6	»	»
<i>Hamadryas hamadryas</i> , L.	23°	5°	160°	14,8	4,4	»	»
<i>Macacus rhesus</i> , AUBER.	16-25°	7-10°	155-157°	13,6-15,3	5,3-6,1	»	»
— arctoides, Is. GEOFF.	22°	3°	162°	17,8	5,9	»	»
<i>Colobus guereza</i> , GRAY.	12°	8°	154°	17,8	3,8	»	»
<i>Semnopithecus maurus</i> , SCHNEB.	15°	9°	155°	15,6	4,9	»	»
— Gernani, M. EDW.	8°	7°	158°	15,9	5,6	»	»
— nasica, F. CUV.	5°	8°	155°	13,7	3,1	»	»
— nemacus, L.	10-14°	7-9°	158-160°	9,7-10,2	3,5-4,3	»	»
<i>Hylobates syndactylus</i> , DESM.	0-2°	7-10°	164-165°	7,1-7,7	»	180°	178-179°
— leuciscus, CANTOR.	5°	5°	162°	8	»	178°	177°
— Rafflesii, Is. GEOFF.	3°	2°	158°	8,7	»	180°	180°
<i>Simia satyrus</i> , L.	0-3°	6-9°	150-163°	11,3-14,5	»	176-179°	178-180°
<i>Anthropopithecus troglodytes</i> , L.	0-5°	7-22°	152-164°	10,6-20	»	156-172°	151-169°
<i>Gorilla gina</i> , Is. GEOFF.	0°	20°	150°	26,7	»	171°	177°
— gorilla, WYMAN.	0°	11-23°	158-163°	18,4-26,2	»	164-179°	170-174°
<i>Homo sapiens</i> , L. (Blancs, Europe)	0-10°	6-19°	155-176°	12,5-18,4	»	160-176°	166-180°
— (Jaunes, Asie).	0-12°	9-24°	154-178°	11,2-18	»	168-178°	161-180°
— (Negres, Afrique).	0-8°	4-14°	150-172°	8,5-14,9	»	167-178°	158-179°

Leur présence ne peut être constatée que chez les Anthropoïdes, sauf le Gibbon, et chez l'Homme. Chez les autres Primates la déviation inférieure est presque nulle, ou peut même disparaître et la déviation supérieure, qui seule persiste, est transformée en une véritable *incurvation* (fig. 6).



En conséquence, chez les Anthro-
poïdes et chez l'Homme j'ai dû
mesurer *deux angles de déviation*
cubitale et, dans le reste des Prima-
tes, j'ai calculé seulement *un indice*
de courbure.

Les angles ont été mesurés sur le
dessin obtenu au diagraphes¹. L'in-
dice de courbure a été calculé de la
même façon que pour le radius, la
hauteur et la *corde* ayant été elles
aussi obtenues par le procédé du
diagraphes.

Les indices de courbure et les
angles des trois os sont réunis dans
le tableau qui précède :

Fig 6. — Cubitus de
Semnopithecus mau-
rus (Coll. Mus. Anat.
Comp. 1880-1151).

Le tableau 3 montre que l'*angle*
supérieur de déviation humérale est
très grand ($16-28^{\circ}$) chez les singes
cynomorphes adaptés à la marche
quadrupède et chez les Lémuriens qui affirment une
tendance à la même adaptation [*Lemur catta* ($17-21^{\circ}$)],

1. On peut mesurer les angles de déviation en utilisant la face antérieure
du cubitus comme l'a fait FISCHER. On obtient sensiblement les mêmes résul-
tats, mais le côté postérieur de l'os marque mieux le phénomène.

Lemur nigerrimus (18-20)]. Les autres Lémuriens, les Ouistitis et les Tamarins, présentent un angle d'une valeur moyenne. Chez les sauteurs caractérisés comme le *Tarsius*, le *Lemur mongoz*, l'angle est très réduit ($3-4^{\circ}$). Il diminue aussi chez les singes qui exécutent des mouvements de grande amplitude avec leurs bras [*Ateles*, ($5-7^{\circ}$), quelques *Semnopithèques* ($5-8^{\circ}$)]. Les Anthropoïdes et l'Homme ont un angle nul ou, autrement dit, leur diaphyse humérale est droite dans sa moitié supérieure. L'angle qu'on trouve parfois chez ceux-ci n'est pas assimilable, au point de vue morphogénique, à celui des autres Primates.

L'angle inférieur de déviation humérale a ses valeurs opposées à celles de l'angle supérieur. Ainsi les Anthropoïdes (fig. 7) et l'Homme présentent des déviations très fortes qui s'élèvent jusqu'à 24° , tandis que chez les singes cynomorphes elles sont très faibles ($0-18^{\circ}$). Les Lémuriens sauteurs et grimpeurs ont un angle de déviation moyen ($12-16$) et les Lémuriens marcheurs un angle réduit ($2-7^{\circ}$). Chez le *Cheiromys*, animal d'habitudes paresseuses, et essentiellement nocturne, les deux angles sont prononcés et égaux.

L'inclinaison du col radial et l'incurvation de la diaphyse radiale considérées ensemble ne donnent pas toujours des résultats uniformes, ce qui doit faire penser

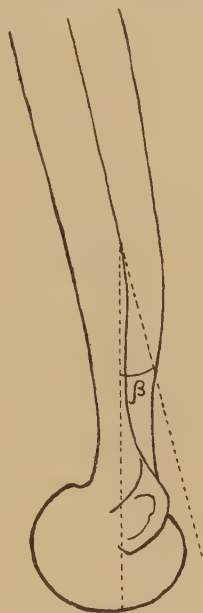


Fig. 7. — Extrémité inférieure d'un humérus de *Gorilla gorilla* (Collection Mus. Anat. Comp. A-8871).

que les deux phénomènes ne résultent que partiellement d'une même action morphogénique. Les grands Anthro-
poïdes, souvent l'Homme et tous les autres groupes de
Primates, au moins en partie, possèdent une forte incli-
naison du col radial, exprimée par un angle obtus très
fermé ($150-160^\circ$). La répartition de cet angle dans les
espèces est d'ailleurs très variable. L'inclinaison est minime
dans les Lémuriens à mouvements lents $170-177^\circ$ et
quelquefois aussi chez l'Homme où l'angle peut atteindre
 178° et même plus. L'incurvation de la diaphyse radiale
donne des résultats plus homogènes. Ce sont tous les
singes arboricoles, les grands Anthro-
poïdes et l'Homme qui possèdent de très grands indices d'incurvation radiale
($14-20$). Chez les singes marcheurs l'indice s'abaisse sen-
siblement (jusqu'à $10,7$) et il est le plus petit chez quelques
Semnopithèques et le Gibbon ($7,1-8,7$).

L'*incurvation latérale du cubitus*, qui doit être distin-
guée de l'incurvation antéro-postérieure de sa diaphyse
mentionnée plus loin, donne des indices plus élevés chez
les singes cynomorphes (*Theropithécus gelada* $8,6$) et
chez les arboricoles grimpeurs. Les sauteurs et les singes
à longs bras ont un indice très faible ($0,4-3,1$). Il est inté-
ressant d'ajouter que lorsque cet indice décroît on observe
l'apparition de la *forme en S* du cubitus.

Cette forme, très accentuée chez l'Homme, moins pro-
noncée chez les Chimpanzés et les Gorilles, est presque
absente chez les Orangs et les Gibbons.

Les Européens ont la déviation supérieure du cubitus
très forte, inversement les Nègres et les Chimpanzés ont
la déviation inférieure plus accentuée que la déviation
supérieure.

Un rapprochement entre les trois tableaux qui pré-

cèdent nous permet de constater que, chez les espèces dont le squelette brachial et antibrachial est très allongé et peu robuste, les incurvations et les déviations des os sont généralement très faibles. Tel est le cas des Atèles, des Gibbons, des Orangs et des Nègres d'Afrique.

Par contre, chez les espèces dont les deux segments osseux du membre antérieur, ou seulement l'un d'eux, sont raccourcis et épais, les incurvations et les déviations des os sont beaucoup plus accentuées que dans le cas précédent. On peut citer à cet égard le squelette brachio-antibrachial de la plupart des Lémuriens et des singes cynomorphes, l'humérus des Hapalidae et celui des Japonais, comme celui de toutes les races humaines robustes (Bas-Californiens, anciens Patagons, certains Européens néolithiques, etc.), enfin le squelette antibrachial des Européens.

Les variations individuelles dans une même espèce paraissent confirmer ces constatations qui conduisent à la conclusion que plus un os du bras ou de l'avant-bras est long, moins il s'incurve et moins il est dévié.

IV. — APLATISSEMENT DES DIAPHYSES INDICE DE SECTION DE L'HUMÉRUS INDICE DE PLATOLÉNIE DU CUBITUS

Une coupe transversale pratiquée au milieu de l'humérus, immédiatement au-dessous de l'insertion du deltoïde, donne en général chez les Primates des sections souvent circulaires, parfois triangulaires et d'autres fois quadrangulaires (fig. 8, *a-g*). Sur toutes ces sections on peut distinguer deux diamètres, l'un antéro-postérieur (A) et l'autre transverse (T).

On mesure ces deux diamètres, sur l'os, au moyen d'un compas glissière. Comme les bords de l'os sont relativement émoussés, il faut choisir les valeurs maxima des diamètres. En procédant ainsi, on peut, avec les

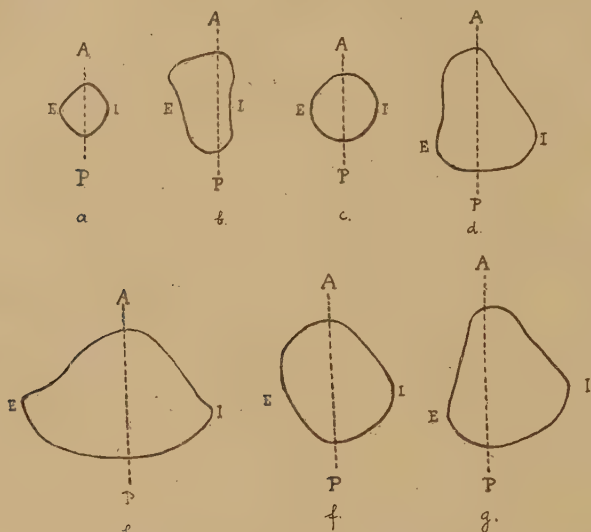


Fig. 8, a-g. — Sections transversales dans l'humérus immédiatement au-dessous du V deltoïdien.

a. *Lemur varius* (1898-195); b. *Erythrocebus patas* (1886-270); c. *Hyllobates syndactylus* (A-10936); d. *Anthropopithecus troglodytes* (A-12761); e. *Gorilla gorilla* (A-8871); f. *Nègre Malgache* (17873); g. *Européen* (3342).

mesures obtenues, calculer un indice de section de l'humérus, d'après la formule :

$$I = \frac{T \times 100}{A}$$

Cet indice exprime l'aplatissement latéral de la diaphyse si ses valeurs sont inférieures à 100, et l'aplatissement d'avant en arrière si celles-ci sont supérieures à 100.

L'aplatissement de la partie distale de l'humérus sera examiné plus loin.

Le cubitus se prête, lui aussi, au calcul d'un indice

d'aplatissement (fig. 9, a-g). VERNEAU (49) l'a établi, le premier, et il lui a donné le nom d'indice de *platôlénie*,
 Les deux diamètres, antéro-postérieur et transverse,

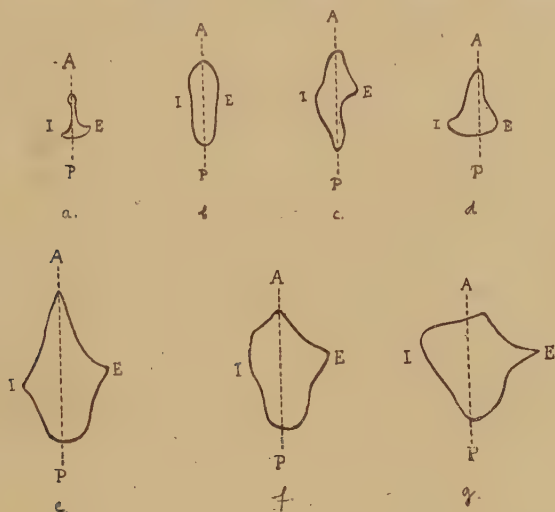


Fig. 9, a-g. — Sections transversales dans le cubitus au niveau d'insertion du brachial antérieur.

a. *Lepilemur nigricaudatus* (1897-230); b. *Myocetes seniculus* (A-12261); c. *Theropithecus gelada* (1904-161); d. *Hylobates Raflesii* (A-3852); e. *Anthropopithecus troglodytes* (1920-135); f. *Nègre Soudanais* (17626); g. *Européen* (764).

sont mesurés sur l'os immédiatement au-dessous de la petite cavité sigmoïde.

On calcule cet indice de la même manière que celui de l'humérus, c'est-à-dire $\frac{I \times 100}{A}$.

La réduction du diamètre transverse amène, comme dans le cas précédent, la diminution de l'indice et signifie l'aplatissement latéral du cubitus.

On établit avec difficulté, chez les Primates, un indice d'aplatissement du radius à cause du développement très variable de sa crête interosseuse. A vrai dire, la mensuration des deux diamètres à un niveau précis est impra-

TABLEAU IV

ESPÈCES	INDICE de section de l'humérus.	INDICE de platolénie.
<i>Tarsius spectrum</i> PALLAS	91,4	58,7
<i>Lepilemur nigricaudatus</i> , GRANDIDIER . . .	100	55,5
<i>Lemur mongoz</i> , L.	102,4	42,5
— <i>varius</i> , IS. GEOFF.	88,8-106	46,1-58,2
— <i>catta</i> , L.	88,8-93,3	50-58,2
— <i>albinus</i> , IS. GEOFF.	101	41,6
— <i>nigerrimus</i> , SCLAT	100-102	36,3-53,9
<i>Cheiromys madagascariensis</i> , E. GEOFF. .	93,4-105	43,7-49
<i>Perodicticus potto</i> , BOSMAN	83,3	55,5
<i>Nycticebus tardigradus</i> , L.	99-100	62,5-74,8
— <i>javanicus</i> , E. GEOFF	96	75
<i>Midas œdipus</i> , L.	87,5	37,5
— <i>rosalia</i> , L.	90	66,6
<i>Hapale penicillatus</i> , E. GEOFF	98,6	50
<i>Cebus</i> sp. ?	87,5-99,8	44,4-53,3
<i>Mycetes seniculus</i> , L.	80-110	44,4-54,4
<i>Ateles paniscus</i> , L.	95-107	73,7
— <i>vellerósus</i> , IS. GEOFF	103	68
<i>Cercocebus fuliginosus</i> , E. GEOFF	80	70
<i>Erythrocebus patas</i> , SCHREB.	66,6-71	50-53,7
<i>Cercopithecus cephus</i> , L.	77,7	57,2
<i>Cynocephalus cynocephalus</i> , E. GEOFF . .	87,1	69,2
— <i>babuin</i> , DESM.	80	64,4
<i>Theropithecus gelada</i> , RÜPP.	82,1	47,2
<i>Hamadryas hamadryas</i> , L.	78,4	54,5
<i>Macacus rhesus</i> , AUDEB.	76-81,4	50,2-55,5
— <i>arctoides</i> , IS. GEOFF	83,7	62,5
<i>Colobus guereza</i> , GRAY	93	63,2
<i>Semnopithecus maurus</i> , SCHREB.	90,6	63
— <i>Germaini</i> , M. EDW.	99	69,2
— <i>nasica</i> , F. CUV.	98,8	68,7
— <i>nemaus</i> , L.	84,5-99	58,3-65
<i>Hylobates syndactylus</i> , DESM.	91,6-95,5	65-67,8
— <i>leuciscus</i> , CANTOR.	100	58,5
— <i>Rafflesii</i> , IS. GEOFF	96	60
<i>Simia satyrus</i> , L.	88,5-104	78,4-81
<i>Anthropithecus troglodytes</i> , L.	88,3-100	69,2-112
<i>Gorilla gina</i> , IS. GEOFF	118,8	116
— <i>gorilla</i> , WYMAN.	97,9-128	89,5-124
<i>Homo sapiens</i> , L. (Blancs, Europe) . . .	75-98,5	82,1-108
— — (Jaunes, Asie).	68,9-110	66,6-96,6
— — (Nègres, Afrique)	72,9-103	83,9-92

ticable. Le radius est surtout un os incurvé et de plus, comme on le verra plus loin, il est moins un os aplati qu'un os excavé.

Le tableau qui précède donne lieu aux constatations suivantes :

C'est l'humérus des Cercopithecinae, les singes le plus adaptés à la marche quadrupède terrestre, qui subit l'aplatissement latéral le plus considérable (Indices de 66-87). L'indice de section humérale de nombreux Semnopithecinae, qui sont plus arboricoles, se rapproche de 100, indiquant par là une diaphyse plus arrondie.

La plupart des Lémuriens, des singes d'Amérique et les Gibbons ont un aplatissement huméral nul. Ceci constitue un phénomène de convergence important pour la Morphogénie.

Parmi les grands Anthropoïdes, l'humérus des Chimpanzés possède un aplatissement latéral, tandis que celui des Gorilles plus massif présente l'aplatissement d'avant en arrière. Les Orangs ont généralement leur diaphyse humérale arrondie.

Chez l'Homme, ce sont les Japonais qui ont l'aplatissement latéral le plus prononcé et le plus fréquent et les Nègres le plus faible.

Chez ceux-ci la section diaphysaire est souvent quadrangulaire, mais la différence entre les deux diamètres est assez réduite.

On observe plus rarement un aplatissement d'avant en arrière de l'humérus chez l'Homme. Lorsqu'il est présent, cet aplatissement s'accompagne d'une forte déviation en avant dans l'extrémité inférieure de l'os.

La distribution de l'indice de platolénie chez les Primates a une certaine homogénéité. Les singes arbori-

coles, avec toutes leurs formes d'adaptation, et les singes marcheurs, possèdent, sans aucune exception, un cubitus aplati (Indices de 36, 3-75).

Chez les Anthropoïdes, sauf les Gibbons, l'aplatissement latéral s'atténue ou disparaît et peut faire place, comme chez les Gorilles, à un aplatissement en sens inverse (indice 124).

Chez l'Homme on obtient des variations individuelles très fortes dans cet indice, à cause du développement très inégal de la crête du court supinateur.

La formation de cette crête présente, au point de vue morphologique et morphogénique, autant d'intérêt que l'aplatissement lui-même.

Ces deux phénomènes, aplatissement et crête, s'excluent l'un l'autre. Une crête saillante signifie un élargissement du diamètre transverse et un indice supérieur à 100. Ce fait est dominant chez le Gorille et fréquent chez les Européens. Dans la série des Japonais et des Nègres je ne l'ai jamais rencontré.

V. — RELIEF DES OS. EXCAVATIONS DES DIAPHYSES COULISSE BICIPITALE. CRÊTES

Les os longs du membre supérieur ne sont pas seulement incurvés ou aplatis, ils sont aussi excavés. En outre, les tendons marquent dans leur passage, au niveau des articulations, des sillons plus ou moins profonds et certains muscles provoquent, à l'endroit d'insertion, des saillies, ou des rugosités de forme et d'importance variables.

Tous ces phénomènes sont dus au mécanisme de l'acti-

tivité musculaire et je crois logique de les grouper ensemble dans une même catégorie morphologique.

A cause de la taille réduite des os du bras et de l'avant-bras chez certains Primates, le relief ne se prête pas à une étude quantitative rigoureuse.

Aussi suis-je dans l'obligation de présenter ces phénomènes de la façon descriptive, complétée par des dessins schématiques appropriés.

Il n'est pas dans l'intérêt de ce travail de décrire tous les détails qu'on peut distinguer à la surface des os. Ici, j'essaie uniquement d'analyser et de faire ressortir les faits qui peuvent offrir un réel intérêt pour le morphogéniste.

Excavation de l'extrémité inférieure de l'humérus. Crête humérale externe. — Tous les Primates ont le tiers inférieur de la diaphyse humérale aplati d'avant en arrière. Cet aplatissement est plus fort sur les bords et plus faible dans la région axiale. Le bord externe est plus aplati que le bord interne.

L'aplatissement du bord externe aboutit, lorsqu'il est très accentué, à la formation d'une crête recourbée en avant. Cette crête, qui sert principalement d'insertion au long supinateur, est très puissante chez les Lémuriens (fig. 10). Ce sont eux d'ailleurs qui, de tous les Primates, possèdent la crête la plus forte. Parmi les Lémuriens, le *Cheiromys*, le *Tarsius*, le *Lepilemur* et les *Lémurs* ont la crête la plus accentuée et la plus excavée. Elle s'atténue chez le Pérodactyle et plus encore chez les Nycticebes.

Elle est faible chez les Haplorhins et nulle chez le *Mycetes* et chez l'*Ateles*. Elle est de nouveau accentuée et légèrement excavée chez les Sajous.



Fig. 10.



Fig. 11.



Fig. 12.

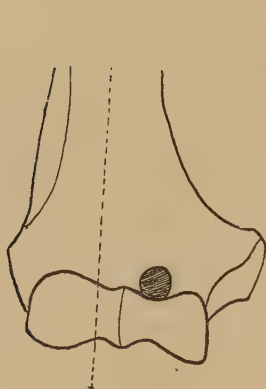


Fig. 13.



Fig. 14.



Fig. 15.

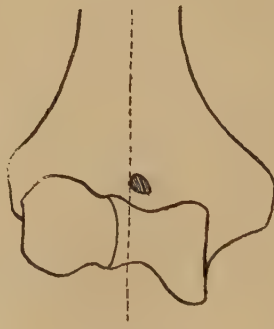


Fig. 16.

Fig. 10-16. — Extrémités inférieures d'humérus de Primates.

Fig. 10. — *Lemur varius* (1898-195). — Fig. 11. — *Semnopithecus nemeus* (1880-1152). — Fig. 12. — *Hylobates syndactylus* (A-10936). — Fig. 13. — *Anthropopithecus troglodytes* (A-12761). — Fig. 14. — *Gorilla gorilla* (A-8871). — Fig. 15. — *Nègre Diola* (19822). — Fig. 16. — *Européen* (767).

Parmi les Cercopithécidæ, la crête n'existe que chez les Macaques.

Chez les Semnopithèques, la moitié externe de la partie distale de la diaphyse est très aplatie, sans être excavée, si bien qu'on ne peut pas conclure à l'existence d'une véritable crête analogue aux précédentes (fig. 11), mais plutôt à un élargissement latéral du bord externe.

Chez les Gibbons, la diaphyse conserve comme chez les Atèles sa forme arrondie jusqu'à l'articulation du coude. Son élargissement n'a lieu qu'au niveau de l'épiphyse (fig. 12). Par contre, la crête est assez importante chez l'Orang, plus chez le Chimpanzé (fig. 13) et surtout chez le Gorille (fig. 14). Chez celui-ci, ainsi que le dessin le prouve, la crête humérale n'est qu'une exagération de celle du Chimpanzé.

La diaphyse humérale de l'Homme présente dans sa partie inférieure tantôt un élargissement du bord externe, comme chez les Semnopithèques, tantôt une crête, mais le plus souvent l'un et l'autre sont absents, l'os ayant à ce niveau-là une simple section triangulaire à base légèrement élargie.

Chez le Nègre (fig. 15), l'élargissement du bord externe est fréquent, tandis que, chez le Blanc (fig. 16), c'est plutôt la forme sans élargissement qui domine.

Il est intéressant de considérer de plus près ces deux dispositions.

L'axe de la diaphyse humérale passe, dans le premier cas, par la gorge située dans la région condylienne de l'axe articulaire du coude, et l'épiphyse inférieure de l'humérus a un aspect dissymétrique; dans le second cas l'axe diaphysaire passe par la zone conoïde de la trochlée

et l'extrémité inférieure humérale a un aspect sensiblement symétrique.

Dans le premier cas, le bord huméral interne qui surmonte l'épistrochlée est plus excavé qu'il ne l'est dans le second. Par contre, l'excavation du bord externe est plus prononcée chez l'Européen que chez le Nègre et cela fait que la diaphyse humérale du Nègre paraisse comme déplacée, par rapport à l'axe articulaire du coude, plus vers l'extérieur que celle de l'Européen. La disposition dissymétrique fréquente chez les Nègres se rapproche de celle des Gorilles et des Chimpanzés, ainsi que le fait voir la comparaison des figures 13, 14 et 15. La disposition symétrique fréquente chez les Blancs se rapproche plutôt de celle rencontrée souvent chez l'Orang et le Gibbon.

Cependant, il faut ajouter que, sur les humérus très robustes d'Orang et d'Homme de race blanche, on constate aussi l'existence de l'élargissement du bord externe, c'est-à-dire une certaine dissymétrie dans l'extrémité inférieure de l'os, ce qui paraît bien indiquer que nous avons là un caractère de convergence.

Coulisse bicipitale et rugosités des grands muscles. — Pour montrer d'une façon plus claire les relations qui s'établissent entre la crête deltoïdienne, la coulisse bicipitale et les rugosités des grands muscles (grand pectoral, grand dorsal, grand rond), j'ai donné plusieurs schémas qui représentent des vues de face de la coulisse bicipitale et des sections dans la diaphyse humérale au niveau du plus grand écartement entre les branches du V deltoïdien.

On peut distinguer chez les Primates, en ce qui concerne la coulisse bicipitale et les crêtes d'insertion musculaire, quatre dispositions-types.

La première est celle du *type sauteur-grimpeur*. On la

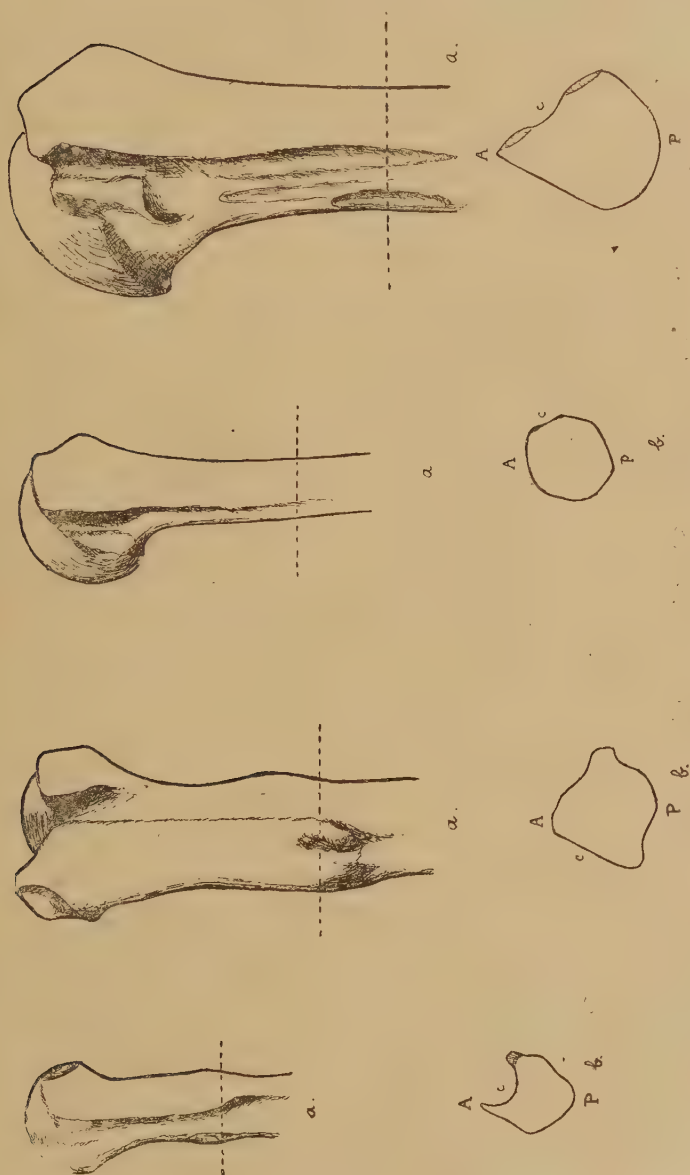


Fig. 17.

Fig. 18.

Fig. 19.

Fig. 20.

Fig. 17-20. — *a*. Coulisse bicipitale vue de face (en haut) ; *b*. Sections transversales dans l'humérus au niveau du V deltoïdien pour montrer la profondeur de la coulisse (*c* en bas).
 Fig. 17. — *Lemur albitmanus* (1888-95). — Fig. 18. — *Macacus arctoides* (A-10940). — Fig. 19. — *Hyllobates syndactylus* (A-10936). — Fig. 20. — *Anthropopithecus troglodytes* (1899-129).

trouve chez les Lémurs, chez les *Tarsius* et chez les Lépi-

lemurs. Parmi les singes platyrrhiniens ce sont seulement les Hapalidés qui la possèdent. La coulisse est très large et son maximum de profondeur et d'élargissement n'est pas au niveau des grosses tubérosités où elle est peu profonde, mais bien plus bas, dans la région d'insertion des grands muscles (fig. 17, *a*). La lèvre antérieure de la coulisse est transformée en une véritable crête tranchante qui, elle aussi, est plus saillante à son extrémité inférieure (fig. 17, *a* et *b*). Les rugosités du V sont fortes, mais elles s'arrêtent dans le tiers supérieur de l'os chez les Lémurs, chez les Tarsius et chez le Lépilemur. Elles descendent un peu plus bas chez les Pérodactyles, les Nycticebes et les Hurlers. Dans ce cas la coulisse est moins large, mais elle est aussi plus profonde sur toute sa longueur.

La *seconde* disposition est celle du *type marcheur terrestre* (fig. 18, *a* et *b*). Les branches du V deltoïdien sont très saillantes et très écartées. Par contre, les rugosités du grand rond sont inexistantes. La coulisse présente une disposition inverse à celle du type précédent. Elle est profonde au niveau des tubérosités, se rétrécit immédiatement au-dessous et se termine à son extrémité inférieure, au niveau des grands muscles, en un méplat osseux dû à la pression du ventre commun des deux biceps. Ce méplat bicipital, qui donne à la section diaphysaire une forme rectangulaire très accusée, est caractéristique, à des degrés variables, de tous les quadrupèdes terrestres.

La *troisième* disposition est celle du *type arboricole suspendu*, rencontrée chez les Atèles et chez les Gibbons (fig. 19, *a* et *b*). La coulisse est presque inexistante dans sa partie diaphysaire; par contre, elle est excessivement profonde dans la région épiphysaire.

Les insertions des grands muscles présentent des rugosités tout à fait réduites, si bien que l'os offre à leur niveau une section circulaire presque parfaite (fig. 19, *b*).

Un fait remarquable de cette disposition, c'est que la coulisse et les insertions musculaires se déplacent vers la face interne de l'os. L'insertion du deltoïde, par exemple, a lieu sur une surface qui est perpendiculaire au plan sagittal du corps.

Enfin la *quatrième* disposition est celle du *type bipède adapté à la préhension*, rencontré chez les grands Anthroïdes et chez l'Homme.

La coulisse est très profonde chez les Chimpanzés (fig. 20, *a* et *b*) et chez les Gorilles, moins profonde chez les Orangs et chez les Hommes. Dans les premiers, elle peut arriver à constituer un véritable canal osseux.

Par rapport à la longueur de leur humérus, la coulisse bicipitale des Anthroïdes et de l'Homme peut être considérée comme réduite à sa partie épiphysaire. Les branches du V deltoïdien, qui sont très saillantes, descendent très bas sur l'humérus; elles dépassent de beaucoup la moitié supérieure de la diaphyse chez le Gorille. Le développement des insertions du grand dorsal, du grand rond et du grand pectoral est soumis chez l'Homme à de très fortes variations individuelles. Chez les Anthroïdes et surtout chez l'Homme les insertions de tous ces muscles ont une tendance à remonter très haut sur la diaphyse. Il y a une très grande différence de niveau entre leurs insertions et celle du deltoïde. Le méplat bicipital est très accusé.

Canal sus-épitrochléen. — Ce canal, qui a une direction oblique de dehors en dedans et de bas en haut, livre passage au nerf médian et à l'artère cubitale. Chez cer-

tains carnassiers il est traversé par le nerf médian et l'artère humérale. Il existe chez le *Tarsius*, presque chez tous les Lémuriens (exception : *Perodicticus*¹), et aussi chez beaucoup de singes du Nouveau Monde. Il manque chez tous les singes de l'Ancien Monde.

Les excavations de la diaphyse cubitale. — Nous avons vu précédemment que le cubitus de tous les Primates



Fig. 21. Fig. 22.

Fig. 21 et 22. — Sections transversales dans le cubitus immédiatement au-dessous de la petite cavité sigmoïde.

Fig. 21. — *Lepilemur nigricaudatus* (1897-230). — Fig. 22. — *Theropithecus gelada* (1904-161).

adaptés à la marche arboricole ou terrestre, aussi bien que celui des arboricoles suspendus est aplati sur ses deux côtés et présente une incurvation à concavité postérieure et interne.

Chez les espèces qui sautent et grimpent à la fois et dont la main est préhensile (*Tarsius*, *Lépilemur*, la plupart des Lémurs, les Hapalidés) le cubitus est excavé d'une façon semblable sur ses deux faces de flexion et d'extension (fig. 21). Chez les Pérodictiques, les Cheiromys, les Nycticèbes, seule persiste une légère excavation de la face d'extension, dans sa moitié supérieure.

De plus, chez tous les Lémuriens, la face de flexion présente, dans sa partie distale, à la limite de la région d'insertion du carré pronateur, une crête sinueuse plus ou moins saillante suivant le développement variable de ce muscle.

1, L'individu que j'ai mesuré et figuré présentait ce foramen.

Les Sajous, les Hurleurs et les Atèles possèdent un cubitus très aplati à surfaces lisses, creusé uniquement dans la région proximale interne, d'où naissent les fléchisseurs profonds des doigts ainsi que le cubital antérieur.

La crête du carré pronateur est prononcée chez les Hurleurs; par contre elle est absente chez les Sajous et chez les Atèles.

Avec les singes cynomorphes nous assistons à l'apparition sur la face d'extension du cubitus, immédiatement au-dessous de la petite cavité sigmoïde, d'une crête saillante qui délimite en avant la fosse d'insertion du court supinateur et en arrière un profond sillon d'où partent les extenseurs du pouce (fig. 22). La crête et les deux excavations qui l'accompagnent sont très fortes chez les Macaques, chez les Babouins, chez le *Cercopithecus cephus*; et moins fortes chez le *Cercopithecus patas*, chez les Cynocéphales et chez le Théropithèque.

La crête du carré pronateur est très prononcée chez les Macaques. Elle l'est moins dans les autres Cercopithecidae.

Le cubitus des Semnopithèques et des Colobes ne présente plus qu'une trace de la crête du court supinateur et la face d'extension au lieu d'avoir les deux excavations est, au contraire, légèrement convexe.

La crête du carré pronateur est aussi inexistante.

Le cubitus aplati et excessivement allongé des Hylobatydae est creusé sur plus de la moitié de sa longueur, par deux sillons uniformes et très profonds sur les deux faces. — La face de flexion est encore plus excavée que celle d'extension.

Le cubitus de l'Orang, du Chimpanzé et du Gorille présente chez la plupart des individus examinés une dia-

physe qui est arrondie dans presque toute sa longueur. Si l'on fait abstraction de la fosse et de la crête du court supinateur très accentuées seulement chez le Gorille et de la crête interosseuse à peine indiquée chez lui, on peut dire que le cubitus des grands Anthroïdes est complètement dépourvu de relief.

De tous les Primates c'est le cubitus de l'Homme qui, par contre, a le plus de relief. La diaphyse prismatique avec la face postérieure, ou d'extension divisée en plusieurs petits territoires excavés, où prennent naissance



Fig. 23, *a* et *b*. — Sections transversales dans le cubitus un peu au-dessous du milieu de la diaphyse.

a. Européen (769). — *b. Nègre Soudanais* (17626).

les extenseurs du pouce et de l'index ; et la face antérieure sillonnée par une profonde excavation médiane sont choses trop connues pour que j'aie besoin d'y insister.

Le cubitus de l'Européen et celui du Japonais sont, fréquemment, conformés de cette façon. Le cubitus des Nègres, au contraire, est dans la plupart des cas, plus rapproché du cubitus à diaphyse arrondie des Anthroïdes.

En effet, si on regarde les coupes schématiques représentées sur la *fig. 23* (*a* et *b*), on voit tout de suite les rapprochements et les dissociations qui s'imposent.

La crête du carré pronateur est absente chez les Anthroïdes et chez l'Homme. A sa place il y a une très forte rugosité qui peut être, très rarement, remplacée par une crête.

Excavations de la diaphyse radiale. — Parmi les Lémuriens, les Tarsius, les Lémurs, le Lépilémur et le Pérodic-tique possèdent tous une excavation de la face antérieure du radius dans laquelle le long fléchisseur du pouce prend son origine. Une dépression semblable existe chez eux, pour l'extenseur propre du pouce sur la face postérieure.

Le Cheiromys et les Nycticèbes ont leur diaphyse radiale faiblement incurvée, très aplatie latéralement; mais sans aucune des dépressions mentionnées.

La diaphyse radiale est dépourvue de toute excavation et conserve la forme d'une tige cylindrique incurvée et légèrement aplatie dans presque toutes les espèces américaines. Chez les Mycetes et les Cebus la face antérieure de l'os est plate sans être excavée. Les singes cynomorphes possèdent au contraire un radius fortement excavé sur ses deux faces antérieure et postérieure et de plus la face externe elle-même dans sa moitié inférieure offre une large dépression, pour le passage des radiaux externes, caractéristique à tout ce groupe de singes. L'excavation et l'applatissage sont tellement puissants chez les Macaques que leur diaphyse radiale conserve une largeur égale depuis la tubérosité bicipitale jusqu'à l'épiphyse inférieure et son aspect est celui d'un prisme triangulaire à bords tranchants et légèrement arqués. — C'est encore chez eux que le court supinateur s'enlève dans une courte dépression assez profonde contournant le bord antérieur de la tubérosité bicipitale. Une dépression aussi forte ne se retrouve que chez les Gorilles. Les Cynocéphales et le Théropithèque ont leurs faces antérieure et postérieure moins creusées.

Chez les Gibbons et moins chez les Orangs, nous rencontrons de nouveau la forme cylindrique sans relief. Les

Chimpanzés et les Gorilles possèdent une diaphyse radiale qui, tout en étant arrondie, laisse voir une surface nettement délimitée et plate pour l'origine du long fléchisseur du pouce.

Chez l'Homme, la diaphyse du radius, comme celle du cubitus, présente, deux types : le type *blanc* à crête interosseuse saillante et à double excavation, antérieure et postérieure et le type *nègre* où ces excavations sont très peu prononcées ou même absentes.

On peut résumer les faits contenus dans ce chapitre d'une façon très succincte.

Les Primates destinés à exécuter des *mouvements de force* avec leurs membres antérieurs (les sauteurs, les marcheurs arboricoles et terrestres, le Gorille en grande partie et l'Homme) *possèdent les os de leur bras et avant-bras à relief prononcé.*

Inversement, les singes destinés à exécuter des *mouvements de grande amplitude* (les arboricoles suspendus et en partie l'Orang et le Chimpanzé) *possèdent des os sans relief.*

VI. — LARGEUR DES SURFACES ARTICULAIRES PAR RAPPORT A LA LARGEUR DES ÉPIPHYSES. INDICES DE LARGEUR ARTICULAIRE

Deux surfaces articulaires, celle de l'épiphyse supérieure et celle de l'épiphyse inférieure de l'humérus, se prêtent au calcul d'un indice de largeur.

Pour obtenir l'*indice de largeur de la tête humérale* il suffit de multiplier par 100 son diamètre transverse et de diviser le produit par la largeur maxima comprise entre les deux tubérosités.

TABLEAU V

ESPÈCES	INDICE de largeur. Tête humérale.	INDICE Trochléo-épicond.
<i>Tarsius spectrum</i> , PALLAS	69,3	70,4
<i>Lepilemur nigricaudatus</i> , GRANDIDIER	70,5	71,5
<i>Lemur mongoz</i> , L.	74	75,6
— <i>varius</i> , IS. GEOFF	61,6-80,2	75,8-78
— <i>catta</i> , L.	71,5-74	75,4-78,9
— <i>albimanus</i> , IS. GEOFF	75	73,3
— <i>nigerrimus</i> , SCLAT	67,8-71,4	77-78,9
<i>Cheiromys madagascariensis</i> , E. GEOFF	72,7	72
<i>Perodicticus potto</i> , BOSMAN	75	72,6
<i>Nycticebus tardigradus</i> , L.	72,8-83,7	73,3-74
— <i>javanicus</i> , E. GEOFF	77,7	73
<i>Midas ædipus</i> , L.	81,25	73,2
— <i>rosalia</i> , L.	77,7	80
<i>Hapale penicillatus</i> , E. GEOFF	85,7	77,7
<i>Cebus</i> sp. ?	77,4-80	78-80,1
<i>Mycetes seniculus</i> , L.	76-82,4	75,4-77,7
<i>Ateles paniscus</i> , L.	100-102	75,1-77,2
— <i>vellerosus</i> , IS. GEOFF	100,4	73,7
<i>Cercocebus fuliginosus</i> , E. GEOFF	84,2	74
<i>Erythrocebus patas</i> , SCHREB	69-74,4	75,7-78,5
<i>Cercopithecus cephus</i> , L.	80,2	74,8
<i>Cynocephalus cynocephalus</i> , E. GEOFF	83,4	75,2
— <i>babuin</i> , DESM.	89	78,1
<i>Theropithecus gelada</i> , RÜPP	76	78
<i>Hamadryas hamadryas</i> , L.	71,5	75,7
<i>Macacus rhesus</i> , AUDEB.	75,8-77,2	78,2-83,4
— <i>arctoides</i> , IS. GEOFF	80,8	74,8
<i>Colobus guereza</i> , GRAY	86,2	80
<i>Semnopithecus maurus</i> , SCHREB	86,9	74,5
— <i>Germaini</i> , M. EDW.	80,8	79
— <i>nasica</i> , F. CUV.	89,6	79,2
— <i>nemaus</i> , L.	80,4-90,9	71,6-74,2
<i>Hylobates syndactylus</i> , DESM.	108-109,3	62,6-73,4
— <i>leuciscus</i> , CANTOR.	100	70,4
— <i>Rafflesii</i> , IS. GEOFF	105,9	68,9
<i>Simia satyrus</i> , L.	94,9-104	66-71,6
<i>Anthropopithecus troglodytes</i> , L.	92,1-102	70,8-79,4
<i>Gorilla gina</i> , IS. GEOFF	96,7	72
— <i>gorilla</i> , WYMAN.	90,3-95,7	66,2-68,9
<i>Homo sapiens</i> , L. (Blancs, Europe)	91-100,8	71,5-79,8
— — (Jaunes, Asie)	88,8-100	70-77,9
— — (Nègres, Afrique)	89,5-100,2	66,6-75,5

De même pour obtenir l'*indice de largeur de l'articulation inférieure humérale* il faut multiplier par 100 la largeur totale articulaire (trochlée, plus condyle) et diviser le produit par la largeur maxima de l'épiphyse inférieure comprise entre l'épicondyle et l'épitrôchlée. Cet indice est nommé par les anthropologistes *indice trochléo-épicondyléen*.

Les deux indices expriment uniquement des relations entre les deux surfaces articulaires et leurs épiphyses. Le premier est plutôt un indice articulaire, tandis que le second est surtout un indice épiphysaire.

Un grand indice de largeur de la tête exprime toujours

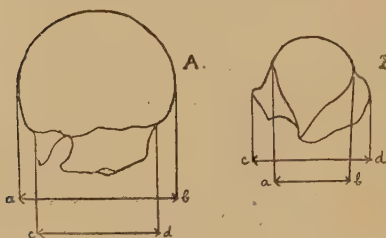


Fig. 24. — L'épiphyse supérieure de l'humérus vue d'en haut pour montrer la différence entre la largeur des tubérosités et celle de la tête humérale.

A. *Hylobates Rafflesii* (A-3852).

B. *Mycetes seniculus* (A-12261).

une tête humérale large, tandis qu'une valeur élevée de l'indice trochléo-épicondyléen indique seulement une réduction de l'épicondyle ou de l'épitrôchlée et parfois la réduction des deux simultanément.

Les valeurs obtenues pour l'*indice de la tête humérale* montrent d'une façon générale que dans l'en-

semble des Primates, des Lémuriens aux Hommes, la largeur de la surface articulaire augmente progressivement aux dépens de la largeur des tubérosités. Cet indice témoigne d'une grande étendue de variation, ses limites extrêmes étant 61,6 (*Lémur varius*) et 109,3 (*Hylobates syndactylus*).

Il montre aussi que les mouvements de grande amplitude et de latéralité font diminuer le développement en

largeur des tubérosités. Exemple : les Anthrophoïdes, l'Homme et surtout les Atèles et les Gibbons (fig. 24 A). Par contre, les mouvements plus ou moins limités à une seule direction de l'espace font augmenter la largeur des tubérosités. Exemple : les singes marcheurs arboricoles et terrestres (fig. 24 B). Ces deux phénomènes distincts peuvent être vérifiés en suivant les variations individuelles de l'Homme et des Anthropoïdes.

Chez l'Homme, une tête humérale allongée s'accompagne généralement de tubérosités très développées dans le sens de la largeur et, inversement, une tête humérale arrondie est accompagnée habituellement de tubérosités moins larges.

Le développement de la tête humérale est par conséquent en raison inverse du développement en largeur des tubérosités.

L'indice *trochléo-épicondyléen* est beaucoup moins étendu dans ses variations, les valeurs extrêmes étant 62,6 (Gibbon Siamang) et 83,4 (Macacus Rhesus). Ceci tient du fait que le groupe des Cercopithecidae, qui devrait fournir des indices très élevés, n'est pas adapté exclusivement à la marche quadrupède, dans le sens absolu du mot, comme les Equidés par exemple. Toutes les espèces du groupe sont aussi arboricoles et peuvent exécuter, à des degrés variables, des mouvements de pronation et de supination avec leur main.

Néanmoins, on peut constater, par les résultats de l'indice, qu'il y a une réduction sensible des deux apophyses qui surmontent l'axe articulaire du coude chez les singes les plus adaptés à la marche sur le sol.

L'indice trochléo-épicondyléen demande à être complété par quelques remarques.

La largeur de l'épiphyse inférieure de l'humérus varie avec le développement de l'épitrôchlée ou de l'épicondyle, ou des deux à la fois. Il faut donc préciser le sens de variation de l'indice. Dans le cas des Lémuriens, l'indice est moyen (70-78,9), mais seule l'épitrôchlée est développée, de même que chez les singes platyrrhiniens, qui présentent un indice un peu plus élevé.

Les Anthropoïdes et les Hommes ont l'indice le plus faible (62,6-79,8), mais tandis que les premiers possèdent une articulation élargie avec les deux apophyses bien développées et presque égales, les seconds présentent dans la majorité des cas une épitrôchlée saillante et un épicondyle réduit. Dans certains cas, chez l'Homme, l'épitrôchlée peut augmenter d'une façon disproportionnée à sa longueur, cependant que l'épicondyle devient presque absent.

Les Nègres et souvent l'Orang présentent cette dernière disposition.

Le développement de l'épicondyle et de l'épitrôchlée par rapport à la largeur de l'articulation, chez les Primates dont l'avant-bras et la main exécutent des mouvements de rotation, est soumis en quelque sorte à une *variation compensatrice*.

VII. — ÉTUDE DES SURFACES ARTICULAIRES

a) *La tête humérale.* b) *Les surfaces articulaires du coude.* c) *Les surfaces articulaires radio-cubitales inférieures.*

L'étude des surfaces articulaires constitue le point de départ indispensable pour la détermination des conditions du mouvement.

TABLEAU VI

ESPÈCES	INDICE de la tête humérale.
Tarsius spectrum, PALLAS	74,6
Lepilemur nigricaudatus, GRANDIDIER	72,7
Lemur mongoz, L.	80,8
— varius, L. GEOFF.	75-79,2
— catta, L.	76,8-79
— albimanus, Is. GEOFF.	75
— nigerrimus, SCLAT	75-77,9
Cheiromys madagascariensis, E. GEOFF.	78,8-80
Perodicticus potto, BOSMAN.	75
Nycticebus tardigradus, L.	81,4-88
— javanicus, E. GEOFF.	88,8
Midas œdipus, L.	89,4
— rosalia, L.	85,7
Hapale penicillatus, E. GEOFF.	89,8
Cebus sp. ?	77,9-78,6
Mycetes seniculus, L.	82,4-87
Ateles paniscus, L.	102
— vellerosus, Is. GEOFF.	97,5
Cercocebus fuliginosus, E. GEOFF.	88,8
Erythrocebus patas, SCHREB.	78,2-83
Cercopithecus cephus, L.	86,8
Cynocephalus cynocephalus, E. GEOFF.	87
— babuin, DESM.	91,6
Theropithecus gelada, RÜPP.	78
Hamadryas hamadryas, L.	89,3
Macacus rhesus, AUDEB.	82-83,4
— arctoides, Is. GEOFF.	92
Colobus guereza, GRAY.	93,2
Semnopithecus maurus, SCHREB.	88,8
— Germaini, M. EDW.	86,8
— nasica, F. CUV.	93,2
— nemaeus, L.	84-90,7
Hylobates syndactylus, DESM.	102-105,7
— leuciscus, CANTOR.	96,2
— Rafflesii, Is. GEOFF.	97,8
Simia satyrus, L.	92,1-99
Anthropopithecus troglodytes, L.	95,4-102,5
Gorilla gina, Is. GEOFF.	93,6
— gorilla, WYMAN.	96,6-109
Homo sapiens, L. (Blancs, Europe).	88,2-98
— — (Jaunes, Asie)	88,4-97,3
— — (Nègres, Afrique).	89,9-102,5

Dans ce chapitre j'essaie surtout de mettre en évidence les points morphologiques essentiels qui peuvent présenter un intérêt particulier pour la solution de certains problèmes de morphogénie articulaire.

a) LA TÊTE HUMÉRALE. — Elle constitue la seule des surfaces articulaires étudiées qui se prête au calcul d'un indice morphologique. Cet indice établit un rapport entre ses deux diamètres, sagittal maximum (S) et transverse maximum (T).

Il est calculé d'après la formule :

$$I = \frac{T \times 100}{S}$$

L'indice exprime une tête humérale arrondie lorsqu'il est très voisin de 100, chiffre indiquant la sphéricité parfaite, une tête allongée du haut en bas, lorsque l'indice est inférieur à 100, une tête élargie dans le sens transversal, lorsque ce même indice est supérieur à 100.

Les résultats du tableau ci-dessus nous font voir que la tête humérale la plus allongée dans le sens longitudinal se trouve chez les Lémuriens et la plus allongée dans le sens transversal chez quelques Gorilles.

Une tête parfaitement ronde n'existe que chez les Gibbons, chez les Atèles et souvent chez l'Orang. La tête humérale des Tamarins et des Ouistitis est beaucoup plus arrondie que celle des Lémuriens. Celle des Cercopithecidae rappelle assez bien par son contour la forme d'un parallélogramme dont les deux diagonales tendent à s'égaliser, ce qui est exprimé par quelques indices très élevés (93, 2). Ce fait nous prouve encore l'adaptation imparfaite à la marche des singes quadrupèdes et, par

rapport à eux, les Lémuriens sont meilleurs marcheurs à ce point de vue.

La tête humérale des Chimpanzés, de beaucoup de Gorilles et de l'Homme est tantôt arrondie, tantôt allongée, comme le prouvent les variations de leurs indices (88,2-102,5).

Mais tous ces résultats nous donnent une idée seulement du contour de la tête humérale; ils ne nous renseignent pas si elle est bombée ou surbaissée, c'est-à-dire si le rayon de courbure est petit ou grand. Nous ne savons non plus dans lequel des deux sens, longitudinal ou transverse, une tête humérale a plus d'aplatissement ou de bombement.

Pour compléter les données sur l'indice morphologique de la tête humérale j'ai essayé l'étude de deux *indices de courbures*, l'un longitudinal et l'autre transverse, les deux établis par des dessins obtenus au diagraphe.

Je n'ai pas poussé l'étude de ces indices dans toutes les espèces de Primates et cela pour deux raisons : d'abord parce que dans les humérus de petite taille il est difficile sinon impossible d'obtenir des résultats précis avec cette méthode et ensuite parce que, même en limitant l'étude aux principaux types d'adaptation, on a une impression assez exacte de la variation du phénomène dans l'ensemble des Primates.

J'ai considéré les diamètres sagittal (ll) et transverse (ll') maxima de la tête humérale comme étant respectivement les cordes des arcs longitudinal et transverse maxima, ainsi qu'on le voit sur les figures de la page 63. Sur les dessins au diagraphé j'ai mesuré successivement les cordes et les hauteurs respectives (h et h') des deux arcs.

On peut établir, avec les mesures obtenues, les deux indices de courbure de la tête humérale selon les formules suivantes :

$$I = \frac{H \times 100}{S} \quad \text{et} \quad I'' = \frac{H' \times 100}{T}$$

où H et H' représentent les hauteurs des courbes (h et h' sur les figures) et S et T les deux diamètres, sagittal et transverse (W et t'). Dans les deux cas, un indice élevé signifie une courbe à petit rayon de courbure et un indice réduit une courbe aplatie à grand rayon.

J'ai calculé les deux indices chez les espèces enregistrées dans le petit tableau qui suit :

ESPÈCES	INDICE de courbure longitudinal.	INDICE de courbure transversal.
1. <i>Lemur varius</i> , Is. GEOFF	48,7	41,8
2. <i>Cheiromys madagascariensis</i> , E. GEOFF	53,8	41,3
3. <i>Macacus arctoïdes</i> , Is. GEOFF	40,8	40,5
4. <i>Theropithecus gelada</i> , Rüpp.	42,7	41,6
5. <i>Semnopithecus nema eus</i> , L.	44,1	43,4
6. <i>Anthropopithecus troglodytes</i> , L.	42,3	60,7
7. <i>Hylobates syndactylus</i> , DESM.	48,8	72,4
8. <i>Homo sapiens</i> , L. (3 blancs)	43,2-46	40-42,4
9. — — (3 nègres)	42,6-45,3	36-40,8

Les chiffres obtenus nous montrent que les Lémuriens et les Gibbons, de tous les Primates, présentent la courbure de l'arc longitudinal la plus prononcée. Chez les premiers cet arc est aussi très long et peut dépasser souvent 180° (fig. 25). Par contre, l'arc transverse est, chez eux, très aplati et beaucoup plus court (120°). Les singes arboricoles d'Amérique (sauf l'Atele) se rapprochent beaucoup des Lémuriens par leurs têtes humérales qui sont plutôt bombées.



Fig. 25.

Fig. 26.

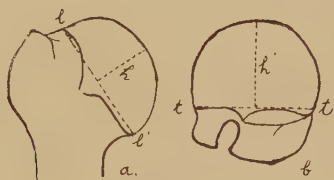


Fig. 27.

Fig. 28.

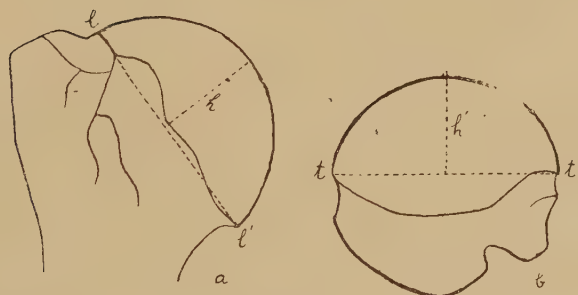


Fig. 29.

Fig. 25-29. — La tête humérale vue de profil (a) et d'en haut (b).

l = diamètre longitudinal maximum; t = diamètre transverse maximum; h et h' = hauteurs des courbes longitudinale et transverse : ab (fig. 26) partie plate de l'arc longitudinal.

Fig. 25. — *Lemur varius* (1898-195). — Fig. 26. — *Cynocephalus babuin* (1872-454). — Fig. 27. — *Hylobates syndactylus* (A-10936). — Fig. 28. — *Anthropopithecus troglodytes* (A-12761). — Fig. 29. — *Européen* (Français, 764).

Les Primates adaptés à la marche sur le sol possèdent les deux arcs, longitudinal et transverse, très surbaissés. L'arc transverse a une longueur de 140° - 150° et il est plus aplati sur les côtés qu'au milieu (fig. 26). Quant à la longueur de l'arc longitudinal il faut ajouter qu'il se compose d'une partie courbe dont l'indice est assez peu élevé et dont la longueur n'atteint jamais 180° et d'une autre partie nettement aplatie (*ab*, fig. 26 *a*) dont le rayon est énorme et la longueur très variable (10 - 30°). Cette dernière partie constitue chez les singes marcheurs un aggrandissement très appréciable du rayon de courbure qu'on ne trouve, à un pareil degré, chez aucun autre Primate. Les travaux de BUGNION (55) et LUDKEWTSCH (75) ont démontré que cet aggrandissement du rayon dans le sens longitudinal existe aussi chez les Anthropoïdes et chez l'Homme et qu'il se poursuit graduellement de bas en haut.

Le Gibbon, l'Atèle et, à un moindre degré, l'Orang sont remarquables par leurs têtes humérales très globuleuses. Chez eux, c'est l'arc transverse qui est le plus long (fig. 27), dépassant de beaucoup 180° ; il est aussi le plus fortement courbé (Indice 72, 4). Ceci nous explique les très amples mouvements de rotation, du bras sur l'épaule, chez les arboricoles suspendus.

Chez l'Homme, l'arc longitudinal est d'habitude plus long que l'arc transverse (153° , 1 le premier et 151° le second, d'après BUGNION). Chez le Nègre la tête humérale a le plus souvent la forme arrondie, mais ses deux arcs possèdent des courbes d'une hauteur très inégale ainsi que le montrent leurs indices, et cela donne à l'articulation un aspect d'une calotte sphérique très surbaissée.

- Le Chimpanzé et le Gorille possèdent un arc longitu-

dinal semblable à celui de l'Homme, alors que leur arc transverse est très long et l'indice de courbure élevé se rapprochant beaucoup de celui du Gibbon et de l'Orang (fig. 28 et 29).

Les faits qui précèdent peuvent se résumer de la façon suivante : *l'allongement des arcs de la tête humérale se réalise avec diminution du rayon de courbure et inversement le raccourcissement des mêmes arcs se réalise avec agrandissement de leur rayon de courbure.*

b) LES SURFACES ARTICULAIRES DU COUDE. — La charnière du coude est composée de deux articulations distinctes : l'articulation *huméro-cubitale* et l'articulation *huméro-radiale*. Pour faciliter l'exposé je vais examiner successivement la surface articulaire humérale toute entière, celle de la cupule radiale et celle de la grande cavité sigmoïde. Chez les Primates les variations de ces trois surfaces articulaires peuvent être classées assez facilement en quatre dispositions-types qui correspondent d'une façon rigoureuse aux principaux modes de mouvement du membre antérieur.

Ces quatre dispositions-types sont les suivantes : la première, celle du type sauteur-grimpeur à mouvements rapides, la seconde celle du type arboricole uniquement grimpeur et à mouvements lents, la troisième celle du type marcheur terrestre et enfin la quatrième celle du type préhenseur.

1° *Le type sauteur-grimpeur à mouvements rapides*, rencontré avec de très légères variations chez presque tous les Lémuriens, sauf les Pérodectiques et les Nycticèbes et chez les Hapalidae.

La partie articulaire de l'épiphyse inférieure de l'hu-

mérus comprend, de l'extérieur à l'intérieur, un *condyle* très proéminent et très arrondi, une *dépression circulaire* très profonde qu'on peut appeler *gorge intermédiaire* et une *trochlée* pourvue d'une dépression très faible, ou même nulle : la *gorge trochléenne* (fig. 3o). La fossette radiale située immédiatement au-dessus de l'épicondyle est profonde tandis que la fossette coronoïdienne est

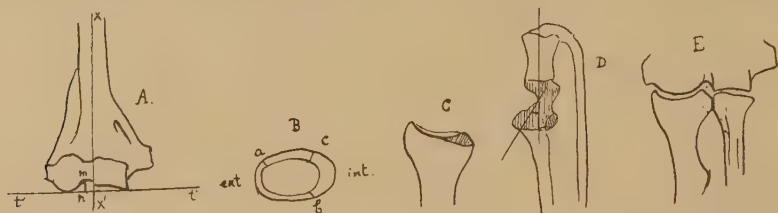


Fig. 3o A-E. — Les surfaces articulaires du coude du *Lemur varius* (1898-195).

A. Extrémité inférieure humérale où l'on voit l'axe articulaire du coude avec le maximum de dépression *mn*. *XX'* = l'axe de l'humérus; *tt'* = tangente à l'axe articulaire condylo-trochléen. — B. Cupule radiale vue d'en haut : *ab* partie mince et saillante du bord; *acb* partie élargie du bord; *cb* = tronquature oblique. — C. Extrémité radiale supérieure qui montre la cupule de profil. — D. Epiphyse supérieure du cubitus qui montre la déviation de la grande cavité sigmoïde. — E. L'emboîtement des surfaces articulaires du coude dans leur ensemble.

absente. La fosse olécranienne, à ouverture allongée, est très peu profonde.

Une tangente menée par le point le plus inférieur du condyle et de la trochlée nous fait tout de suite saisir que la *profondeur maxima* de la surface articulaire se trouve placée au fond de la gorge intermédiaire. Le maximum de dépression est extérieur à l'axe de la diaphyse humérale (fig. 3o *mn*). Cet axe est sensiblement perpendiculaire sur l'axe articulaire (angle de déclinaison humérale : 90° environ).

Il faut ajouter que chez le *Lemur catta* et le *Lemur nigerrinus* la gorge intermédiaire et la gorge trochléenne tendent à égaliser la profondeur de leurs dépressions.

La cupule radiale est très nettement allongée dans le sens de l'axe articulaire du coude (fig. 3o *B*). Elle présente un *bord* de largeur inégale comme on le voit sur la figure ; et une *excavation* circulaire profonde et un peu excentrique. Il est très intéressant d'analyser de plus près le bord de la cupule. On y distingue trois parties :

La première (*ab*) est antérieure et légèrement externe, elle est aussi la plus mince ;

La seconde (*bo*) est antéro-interne et la plus large ;

La troisième (*ca*) postéro-interne continue la seconde en s'amincissant en croissant de lune, de dedans en dehors.

Vue de profil, la cupule radiale présente une surélévation du bord dans sa région externe, et une troncature oblique du bord dans sa partie antéro-interne (fig. 3o *C*). Cette troncature correspond *exactement* à l'endroit de la plus grande largeur du bord. La partie d'excursion de la cupule, dans la petite cavité sigmoïde du cubitus, correspond à toute la partie élargie du bord (*acb*), laquelle est, par conséquent, relativement longue. La grande cavité sigmoïde du cubitus ne présente aucune arête longitudinale et médiane. Sa partie coronoïdienne, très élargie, est déviée en dedans par rapport à la partie olécraniennne (fig. 3o *D*). L'angle de déviation des deux portions de la surface articulaire est assez grand (30-45°). Il permet de déterminer avec précision la position du radius par rapport au cubitus. Cette position est fréquemment celle d'une légère supination. La petite cavité sigmoïde est verticale et non excavée.

Si nous regardons de face les deux surfaces articulaires, radiale et cubitale, réunies, elles nous donnent le tracé schématique représenté dans la figure 3o *E* ; on

observe qu'il reproduit exactement le tracé de la partie inférieure de l'axe articulaire huméral du coude.

Le cubitus du type sauteur et grimpeur, vu par sa face interne ou de flexion, montre que le contour de la



Fig. 31. — Schéma destiné à montrer l'ouverture habituelle de l'angle du coude et les limites d'excursion de la grande cavité sigmoïde autour de la trochlée humérale chez un Lémurien.

grande cavité sigmoïde est approximativement celui d'un demi-cercle. Cette cavité reçoit la trochlée sur plus de trois quarts de son arc de cercle (fig. 31), si bien qu'il reste encore une portion libre de l'arc trochléen, portion d'ailleurs très réduite (30-40° environ) pour l'excursion normale du cubitus autour de l'axe articulaire du coude. L'excursion de flexion maxima du cubitus est en réalité considérablement augmentée par la présence d'une fosse

coronoïdienne très profonde.

L'excursion d'extension maxima du cubitus est, au contraire, très limitée, étant donné le peu de profondeur de la fosse olécraniennne. Par conséquent, l'articulation huméro-cubitale du premier type est surtout une articulation de flexion.

2° *Le type uniquement grimpeur, à mouvements lents*, se rencontre chez les Nycticèbes, les Pérodactyles, les Hurlers et, jusqu'à un certain point, chez les Atèles. Ces derniers, qui ressemblent par tant de caractères aux Gibbons, s'en éloignent par l'articulation du coude et celle du poignet qui les placent, au contraire, au rang des arboricoles exclusifs. L'axe articulaire huméral du coude du type uniquement grimpeur se présente sous l'aspect d'une trochlée unique (fig. 32 a et b), dont la lèvre

externe serait formée par le condyle et la lèvre interne par la trochlée, les deux séparées par une dépression circulaire peu profonde. A la partie supérieure et externe du condyle, on aperçoit parfois une gouttière extra-con-



Fig. 32, a-c. — Surfaces articulaires du coude du type uniquement grimpeur.

a. Epiphyse inférieure de l'humérus d'un *Perodicticus potto* (1903-720); mn' = dépression maxima de la gorge trochléenne; tt' = tangente à l'axe articulaire condylo-trochléen; XX' = axe de la diaphyse humérale. — b. Epiphyse inférieure de l'humérus d'un *Mycetes seniculus* (A-12261); mn , tt' et XX' = comme dans la figure précédente. — c. La déviation de la grande cavité sigmoïde (olécrano-coronoïdienne) du même individu.

dylienne. La fossette radiale est très profonde, la fossette coronoïdienne absente; quant à la fosse olécraniennne, elle est plus profonde que dans le type précédent. La dépression circulaire unique est située dans l'axe de l'humérus. Cet axe, comme dans le premier cas, est perpendiculaire sur l'axe articulaire du coude (Angle de déclinaison humérale : 90°).

La cupule radiale diffère de celle du premier type seulement par sa plus faible profondeur. La partie d'excursion du bord articulaire dans la petite cavité sigmoïde est sensiblement la même. La partie coronoïdienne de la grande cavité sigmoïde est étroite (fig. 32 c) et légèrement plus déviée en dedans (angle de déviation : 40° - 55°). L'avant-bras est employé habituellement en légère pronation. Quant à l'excursion du cubitus, autour de la

trochlée humérale, elle est un peu augmentée grâce à une fosse olécraniennne plus profonde que dans le premier cas.

3° *Le type marcheur terrestre.* — C'est la disposition qu'on trouve chez tous les Cercopithécidæ à l'exception de quelques Semnopithèques qui présentent une disposition rapprochée de celle du premier type. Le Semnopithèque nasique, au contraire, se rapproche, à cet égard, plutôt des Anthroïdes.

Dans ce troisième type, l'axe articulaire huméral du coude se présente encore sous la forme d'une trochlée unique (fig. 33 a). La lèvre externe est constituée par le condyle dont le rayon de courbure diminue de bas en haut et d'arrière en avant, et la lèvre interne par la trochlée dont le bord est très saillant. La gorge intermédiaire est très profonde et très large dans le sens de l'axe de l'articulation, si bien que l'espace excavé apparaît énorme. Cette gorge unique est le résultat de la fusion de deux dépressions circulaires presque égales : l'une externe condylienne et l'autre interne trochléenne. Chez les Macaques et chez les Cynocéphales, les deux gorges, quoiqu' d'inégale profondeur, sont encore distinctes et séparées par une très mince lèvre intermédiaire. Chez beaucoup de Cercopithèques, chez le Théropithèque, chez le Hamadryas et chez l'Erythrocebus patas, la lèvre intermédiaire s'efface complètement et à sa place on voit une dépression unique, large et profonde, ainsi qu'il vient d'en être fait mention.

Chez tous les représentants du type marcheur terrestre, le maximum de profondeur de la surface articulaire humérale du coude se trouve situé dans la région trochléenne et il est interne par rapport à l'axe de la

diaphyse humérale. Cet axe est très incliné sur celui du coude, il a une direction oblique du dehors en dedans et de haut en bas (L'angle de déclinaison humérale peut atteindre chez les Macaques et chez les Cynocéphales 70°).

Une gouttière extracondylienne est souvent présente.

La fossette radiale est beaucoup moins prononcée que dans les types précédents. La fossette coronôidienne est

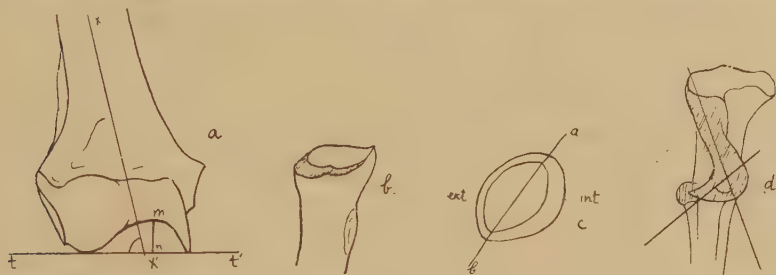


Fig. 33, *a-d*. — Surfaces articulaires du coude du *Theropithecus gelada* (1904-161).

a. *mn*, *tt'*, *XX'* comme dans les figures précédentes. — *b*. La cupule radiale vue de profil. — *c*. La cupule radiale vue d'en haut; *ab*, ligne de séparation entre la partie mince et la partie élargie du bord. — *d*. La déviation olécrano-coronôidienne.

plus marquée et la fosse trochléenne très profonde. La profondeur de cette fosse est encore augmentée du fait que l'épitrôchlée est fortement recourbée en arrière.

La cupule radiale, profonde, a une forme plus losangique que circulaire. La troncature oblique est absente, ou peu marquée, si bien qu'on peut diviser le bord de la cupule en deux moitiés sensiblement égales, l'une externe très mince et l'autre interne, large et s'amincissant d'avant en arrière (fig. 33 *b* et *c*).

La partie articulaire de la cupule qui tourne dans la petite cavité sigmoïde est assez réduite par rapport aux premiers types.

La surface articulaire de la grande cavité sigmoïde est

particulièrement étroite : sa partie olécraniennne est tournée vers le radius, celle coronoïdienne vers le côté interne (fig. 33 *d*). L'angle de déviation des deux parties articulaires est à son maximum ($55-70^{\circ}$). En étroite dépendance avec ce caractère, la petite cavité sigmoïde

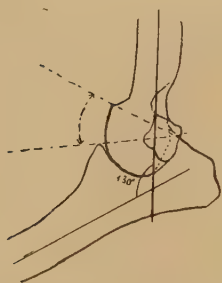


Fig. 34. — Schéma destiné à montrer l'ouverture habituelle de l'angle du coude et les limites d'excursion de la grande cavité sigmoïde autour de la trochlée humérale chez un Theropithèque.

est d'une très grande profondeur et les mouvements du radius autour du cubitus sont très prononcés en pronation et très limités en supination.

Quant à l'excursion que la grande cavité sigmoïde du cubitus exécute autour de la trochlée, elle est considérablement augmentée (fig. 34). En raison de la très grande profondeur de la fosse olécraniennne, on peut dire que c'est l'extension qui s'accroît ; par contre, l'excursion de flexion est plus réduite que dans les cas précédents, et ceci est indiqué

par le manque presque complet de fossettes radiale et coronoïdienne.

On peut donc soutenir que l'articulation huméro-cubitale du type marcheur terrestre, en opposition avec celle des types déjà analysés, est surtout une articulation d'extension.

4° *Le type préhenseur* se rencontre chez les Anthroïdes et chez l'Homme.

Le caractère principal de cette disposition c'est que l'axe articulaire huméral du coude est très large dans le sens transversal et il est constitué de deux trochlées contiguës (fig. 35 *a*), la lèvre interne de la première

étant commune avec la lèvre externe de la seconde. La présence d'une seconde gorge directrice très profonde empiète légèrement sur le volume du condyle qui devient à peu près de la même taille que la lèvre interne de la vraie trochlée. Les profondeurs maxima des deux gorges sont sensiblement égales et se placent des deux côtés de l'axe de l'humérus. L'inclinaison de cet axe sur l'axe articulaire du coude varie de 0-15° (Angle de déclinaison : 75-90°).

Les Gorilles, les Chimpanzés et les Gibbons présentent, en général, la disposition à double trochlée. Chez l'Orang, la gorge externe ou condylienne est très atténuée et, au contraire, la gorge interne ou trochléenne est extrêmement profonde (fig 35 *b*). Chez l'Homme on trouve plus rarement la forme à double trochlée et plus souvent une forme analogue à celle rencontrée chez l'Orang. Cette dernière disposition est surtout fréquente chez les Nègres.

La fossette coronoïdienne et la fossette radiale sont présentes, la première étant toujours plus profonde que la seconde. La fosse olécraniennne est généralement très profonde. Chez l'Homme, les humérus robustes présentent une fosse olécraniennne moins profonde que celle des humérus de faible robusticité. De même, chez l'Homme l'ouverture de cette fosse est de forme ovoïde, allongée dans le sens transversal, alors que chez les Anthropoïdes elle est de forme triangulaire, allongée de haut en bas.

La *perforation olécraniennne* est plus fréquente chez les Anthropoïdes que chez l'Homme. Quant à la fréquence de ce caractère dans les races humaines je n'ai pu tirer aucune conclusion précise.

La cupule radiale est assez exactement circulaire. La

partie creusée, très profonde, est excentrique (fig. 35 *d*). La cupule est moins profonde chez le Gibbon, chez l'Orang et chez le Nègre. La partie élargie du bord (le

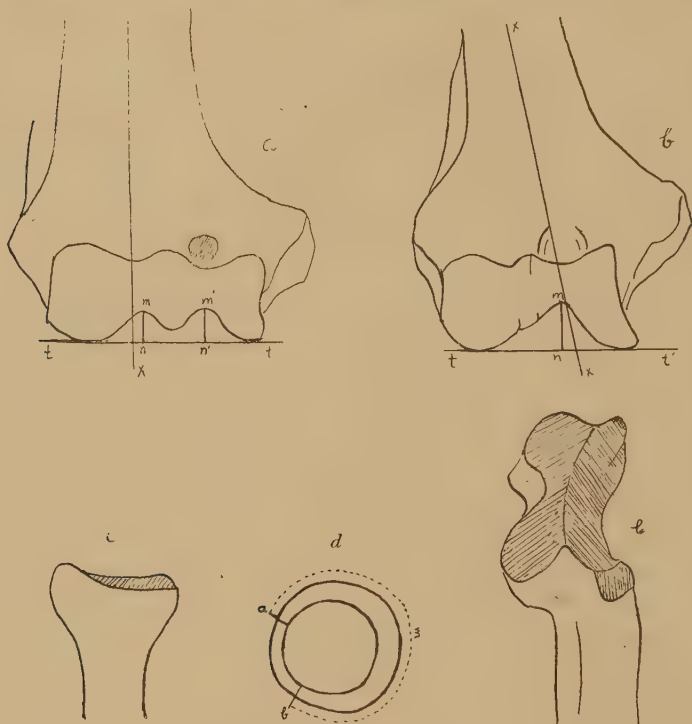


Fig. 35, a-e. — Surfaces articulaires du coude du type préhenseur.

a. Extrémité inférieure de l'humérus d'un Chimpanzé : *mn*, *m'n'* = dépressions maxima. — b. Extrémité inférieure de l'humérus d'un Orang. — c. Cupule radiale d'un Chimpanzé vue de profil. — d. Cupule radiale d'un Chimpanzé vue d'en haut; *amb*. partie d'excursion dans la petite cavité sigmoïde du cubitus. — e. La grande cavité sigmoïde du cubitus avec ses deux versants très inclinés l'un sur l'autre.

croissant de lune) est incomparablement plus grande que dans les cas précédents (fig. 35 *d*). Elle correspond en totalité à la troncature oblique et indique l'étendue des mouvements de rotation du radius dans la supination et dans la pronation de l'avant-bras. Une telle disposition

est surtout favorable aux grands mouvements de supination.

La partie surélevée du bord de la cupule radiale est très réduite, mais aussi très saillante (fig. 35 *c* et *d*).

Chez l'Homme la grande cavité sigmoïde est très large, dans le sens transversal; elle est, au contraire, très étroite chez les Anthropoïdes. Chez le premier, l'arête directrice, qui divise cette cavité en deux parties presque égales, est très émoussée; par contre, elle est très marquée chez les seconds, les deux versants de la cavité sigmoïde présentant chacun une forte inclinaison (fig. 35 *e*).

La déviation des deux parties articulaires, olécranienne et coronôidienne, est très faible tant chez les Anthropoïdes que chez l'Homme (Angle de déviation : 0-20°).

L'amplitude totale des mouvements de flexion et d'extension du cubitus sur l'humérus atteint le maximum (75°-90°). Cette augmentation d'amplitude se traduit morphologiquement par des fossettes de flexion et d'extension très profondes et par une trochlée dont la surface articulaire est considérablement accrue (fig. 36).

L'articulation huméro-cubitale des Anthropoïdes et de l'Homme est aussi bien une articulation de flexion que d'extension, mais il est préférable de la considérer sur-

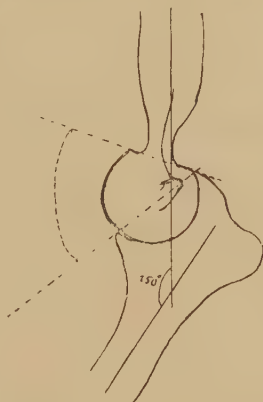


Fig. 36. — Schéma destiné à montrer l'ouverture habituelle de l'angle du coude et les limites d'excursion de la grande cavité sigmoïde autour de la trochlée humérale chez un Chimpanzé.

tout comme une articulation propre aux mouvements de grande amplitude.

c) LES SURFACES ARTICULAIRES ANTIBRACHIALES DU POIGNET. — L'articulation du poignet, chez les Anthropoïdes et chez l'Homme est uniquement une articulation *radio-carpienne*. Dans tous les autres Primates l'apophyse styloïde du cubitus prend part aussi à l'articulation. Dans



Fig. 37. — La première rangée du carpe vue d'en haut, pour montrer la fossette articulaire qui reçoit l'apophyse styloïde du cubitus (chez un Macaque).

ce cas l'apophyse styloïde s'engage dans une petite excavation circulaire, véritable cavité glénoïde carpienne, creusée à la fois dans le pyramidal et dans le pysiforme (fig. 37). Chez tous les Primates la tête du cubitus ne descend jamais jusqu'au carpe, elle en est séparée par le *ligament interosseux triangulaire*.

La main étant en supination complète, l'extrémité articulaire inférieure du squelette antibrachial comprend, du dehors en dedans : l'*apophyse styloïde radiale*, la *surface carpienne du radius* et l'*apophyse styloïde du cubitus*, lorsque celle-ci est articulaire. Les principales dispositions des surfaces articulaires antibrachiales du poignet, rencontrées chez les Primates, correspondent assez exactement, comme dans le cas des surfaces articulaires du coude, aux quatre types d'adaptation déjà mentionnés.

Il est donc logique d'entreprendre la description des

surfaces articulaires antibrachiales du poignet, chez les mêmes types et dans le même ordre.

1° *Le type sauteur et grimpeur.* — L'épiphyse inférieure du radius est très large dans le sens transversal (fig. 38 a) et présente des gouttières tendineuses très prononcées pour le long abducteur du pouce et pour le long extenseur du pouce. Ce caractère est très en rapport avec la main préhensile de ce groupe de Singes. La cavité sigmoïde du radius est réduite à une petite facette triangulaire sans aucune profondeur et perpendiculaire sur la face carpienne du radius. Si l'on compare la position de la tubérosité bicipitale avec celle de la facette sigmoïde du radius, on constate que la première ne surplombe pas exactement la seconde; la tubérosité bicipitale regarde un peu en avant et en dedans, alors que la facette sigmoïde regarde nettement du côté interne. Un axe perpendiculaire au plan de base de la tubérosité et un autre, perpendiculaire au plan de la facette sigmoïde forment entre eux un angle de déviation appréciable (15-20°). E. FISCHER (11) a mesuré, le premier, cet angle par un procédé spécial et il lui a donné le nom d'*angle de position de la tubérosité*. Pratiquement, et à défaut d'un instrument approprié, on peut très bien utiliser pour la mesure de cet angle le tropomètre de BROCA. Il suffit, en effet, de fixer deux arcs en pointe, chacun perpendiculairement au centre de la tubérosité et de la petite cavité sigmoïde radiale, et choisir ensuite la pointe de l'arc supérieur comme *ligne d'orientation*; la direction prise par la pointe de l'arc inférieur indique directement sur le cadran horizontal l'angle de déviation. La manipulation de l'appareil est en tous points comparable à celle usitée pour la mesure de l'angle de torsion de l'humérus.

L'apophyse styloïde du radius est volumineuse et descend très bas (fig. 38 *b*). La surface articulaire carpienne de cet os est allongée dans le sens transversal et très excavée. Le maximum de dépression se trouve très rapproché de la cavité sigmoïde du radius. L'apophyse styloïde du cubitus est très développée et présente, du



Fig. 38, *a-e*. — Les surfaces articulaires antibrachiales du poignet chez un *Lemur varius*.

a et *b*, la surface carpienne du radius ; *c* et *d*, apophyse styloïde et tête articulaire du cubitus ; *e*, la surface articulaire antibrachiale du poignet dans son ensemble et de profil.

côté externe, une tête cubitale excessivement petite (fig. 38 *c* et *d*). La partie articulaire est, de cette façon, très réduite, ce qui indique des mouvements de rotation très limités dans l'articulation radio-cubitale inférieure.

Il y a, par conséquent, dans ce type une disproportion fort accentuée entre les volumes des deux parties constitutives de l'épiphyse inférieure du cubitus.

Si nous considérons la surface articulaire antibrachiale du poignet dans son ensemble, nous pouvons la représenter par le tracé schématique réalisé dans la figure 38 *e*. Cette figure nous montre que le point de dépression maxima est situé au milieu de la surface articulaire tout entière, et par conséquent, il est interne par rapport à l'axe de la diaphyse radiale.

2° *Le type uniquement grimpeur à mouvements lents*. — Dans ce type la gouttière de l'extenseur du pouce est exagérée (fig. 39 *a*), celle du long abducteur du pouce l'est moins. Chez l'Atèle ces mêmes gouttières sont assez

peu marquées. La surface carpienne du radius, très profonde, est moins étroite, d'avant en arrière, que dans le type précédent.

Le maximum de profondeur de la surface articulaire totale est légèrement excentrique et tombe assez exactement dans l'axe de la moitié inférieure de la diaphyse radiale. La tubérosité bicipitale surplombe parfaitement la



Fig. 39, *a* et *b*. — Surface carpienne du radius vue d'en bas (*a*) ; extrémité inférieure du cubitus vue d'en bas (*b*). Les deux chez un Hurleur alouata.



Fig. 40. — L'articulation radio-cubitale inférieure chez le *Perodicticus potto* (1903-720).

cavitésigmoïde (angle de déviation : 0°). L'épiphyse inférieure du cubitus possède une tête plus développée que dans le premier cas (fig. 39 *b*) et une apophyse styloïde de robusticité égale à celle de la tête. Chez les Pérodectiques et les Nycticèbes, la tête cubitale pénètre dans l'épiphyse inférieure radiale et s'appuie sur un prolongement osseux horizontal de cette épiphyse. Ce prolongement se substitue en partie au ligament triangulaire. L'apophyse styloïde du cubitus est dans ce cas exceptionnellement mince (fig. 40). Ce mode d'articulation des deux épiphyses inférieures est unique chez les Primates et il présente un intérêt particulier pour le morphologiste autant que pour le morphogéniste.

3° *Le type marcheur terrestre.* — Il est remarquable par la présence d'apophyses styloïdes radiale et cubitale, très puissantes et longues ; par des gouttières tendineuses très profondes (fig. 41 *r*), surtout pour les radiaux

externes, et ensuite par une surface articulaire carpienne du radius allongée transversalement et divisée, d'avant en arrière, par une crête mousse, en deux facettes : l'une *externe* pour le scaphoïde et l'autre *interne* pour le semi-lunaire.

L'ensemble de la surface antibrachiale du poignet présente une excavation profonde, étendue et plate



Fig. 41. — Surface articulaire antibrachiale du poignet dans l'ensemble et de profil chez un Macaque.



Fig. 42. — Apophyse styloïde et tête articulaire du cubitus d'un Semnopithèque Douc.

(fig. 41). La dépression maxima de cette excavation est située à la fois dans la région radiale et dans la région cubitale.

La cavité sigmoïde du radius n'est plus représentée par une facette verticale plane ; elle est concave, de superficie plus grande et regarde nettement en dedans. La tubérosité bicipitale est par rapport à la position de la cavité sigmoïde légèrement déviée vers la face antérieure du radius (angle de déviation : 10-30°).

L'apophyse styloïde du cubitus, ainsi qu'il a été déjà dit, est bien développée en longueur et en épaisseur ; mais le volume de la tête cubitale dépasse sensiblement celui de l'apophyse styloïde (fig. 42). Cet accroissement de volume de la tête cubitale s'accompagne d'une augmentation de sa surface articulaire. Les mouvements de supination et pronation sont, par conséquent, beaucoup plus étendus que dans les cas précédents.

Chez quelques Semnopithèques et en particulier chez

le *Semnopithèque Douc*, on constate des dispositions communes au type marcheur terrestre et au type préhenseur.

4° *Le type préhenseur.* — Il se rencontre chez les *Anthropoïdes* et chez l'Homme, mais il faut ajouter que les surfaces articulaires du poignet présentent, dans les deux groupes, des différences assez marquées. Cela est explicable par le fait que les *Anthropoïdes* ne possèdent pas une main uniquement préhensile comme l'Homme, ils s'en servent aussi pour la marche. A l'opposé de ce qui se passe chez les autres singes, cette marche s'exécute sur le dos des doigts, la main fortement fléchie.



Fig. 43. — Épiphyse inférieure radiale de l'Homme (Européen 767).

Les caractères principaux de l'extrémité inférieure du squelette antibrachial, communs aux *Anthropoïdes* et à l'Homme, sont les suivants :

Un élargissement, d'avant en arrière, de l'épiphyse radiale inférieure et, par suite, une différence appréciable entre l'épaisseur de la diaphyse du radius et l'épaisseur de son épiphyse inférieure (fig. 43). Des coulisses tendineuses larges et profondes, et une surface carpienne du radius très inclinée sur l'axe de l'avant-bras (de bas en haut et du dehors en dedans) et, en même temps, très excavée. Enfin des apophyses styloïdes radiale et cubitale moins développées que dans les autres types.

Tous ces caractères sont en étroite dépendance les uns des autres et subordonnés au fait essentiel qui domine l'articulation du poignet chez le type préhenseur, à savoir,

que la main est liée à l'avant-bras au moyen d'une articulation uniquement *radio-carpienne*.

Aux caractères qui viennent d'être notés il faut ajouter ceux qui différencient les Anthropoïdes de l'Homme, et les caractères propres aux races humaines.

Chez l'Homme, les gouttières du long abducteur du pouce et du court extenseur du pouce sont situées dans la continuation de la



Fig. 44. — Épiphyse inférieure radiale d'un Chimpanzé.



Fig. 45. — Épiphyse inférieure radiale d'Européen (Italien 3342).



Fig. 46. — Épiphyse inférieure radiale d'un Nègre Malgache (17873).

1, 2, 3 et 4 : gouttières tendineuses du long abd. du pouce, du court ext. du pouce et des radiaux externes.

face externe (d'abduction) de l'os, tandis que, chez les Anthropoïdes, ces mêmes gouttières se trouvent placées sur la face postérieure (d'extension), accompagnant les gouttières des radiaux. Ce fait est visible sur les figures 44 et 45.

La séparation nette de l'espace destiné à ces gouttières, chez l'Homme, est certainement en rapport avec la grande opposabilité du pouce.

Chez les Nègres les gouttières tendineuses sont moins profondes que chez les Japonais et les Européens (fig. 45 et 46).

Les Orangs, les Gibbons et les Nègres présentent une surface articulaire carpienne du radius moins profonde que celle des Gorilles, des Chimpanzés et des Blancs.

Les Japonais, à cet égard, occupent une place intermédiaire entre le premier et le second groupe. Si nous tenons compte du fait que l'articulation du poignet est une condylarthrose et qu'elle permet des mouvements de circumduction plus ou moins étendus de la main, il est facile d'observer que plus la cavité de réception est excavée, moins le rayon de courbure des surfaces en contact est grand et plus les mouvements sont limités. Par conséquent, l'amplitude des mouvements de circumduction, chez l'Orang, le Gibbon et le Nègre, étant donné la faible excavation de leur cavité de réception radiale, est plus grande que chez le Gorille, le Chimpanzé et le Blanc.

D'autre part, si nous tenons aussi compte de l'indice de robusticité du radius, nous sommes amenés à distinguer, en ce qui concerne la nature des mouvements de la main, dans le groupe anthropoïde et humain, la présence de deux types opposés : l'un gracile et à mouvements de grande amplitude (Orang-Gibbon-Nègre), l'autre robuste et à mouvements de force, mais de faible amplitude (Gorille-Chimpanzé-Blanc).

La cavité sigmoïde radiale du type préhenseur est très excavée, elle représente une surface articulaire appartenant à un cylindre creux. Cette surface, verticale chez l'Homme, regarde obliquement, en haut et en dedans, chez les Anthropoïdes. Chez ces derniers elle est parfaitement surplombée par la tubérosité bicipitale (angle de déviation : 0°), tandis que chez l'Homme elle ne l'est que rarement d'une façon parfaite. Chez celui-ci, comme l'a montré E. FISCHER (11), il y a diverses variations de positions de la tubérosité bicipitale par rapport au plan de la face antérieure du radius.

Mes propres observations sur les nombreuses séries

d'os humains du Laboratoire d'Anthropologie du Muséum établissent d'une manière générale que l'*angle de position de la tubérosité* (angle de déviation) varie chez l'Homme de 0-60°.

De plus, j'ai remarqué chez les Nègres, plus que chez les



Fig. 47. — Apophyse styloïde et tête articulaire du cubitus d'un Chimpanzé.

Japonais et les Européens, une plus grande fréquence de cas où la tubérosité bicipitale surplombe la cavité sigmoïde radiale.

La tête cubitale, très développée, regarde un peu en bas chez les Anthroïdes et directement en avant chez l'Homme.

L'excursion de l'épiphyse inférieure radiale autour de



Fig. 48. — Les épiphyses inférieures du radius et du cubitus chez le *Gorilla gorilla* (A-8871).

la tête cubitale peut atteindre, chez l'Homme et plus encore chez les Anthroïdes, son amplitude maxima (180° environ). L'accroissement de la tête cubitale, qui a pour conséquence cette augmentation dans l'amplitude du mouvement de rotation radio-cubitale, se fait aux dépens du volume de l'apophyse styloïde

(fig. 47). Cette apophyse est, en effet, chez le type préhenseur, de taille excessivement réduite. Elle est néanmoins chez les Anthroïdes un peu plus développée que chez l'Homme. La dépression maxima de la surface articulaire

antibrachiale du poignet se trouve placée, chez l'Homme, dans l'axe de la moitié inférieure du radius et, chez les Anthropoïdes, dans un axe qui passerait par le milieu de l'espace interosseux (fig. 48).

L'épiphyse inférieure radiale, vue d'en bas, présente

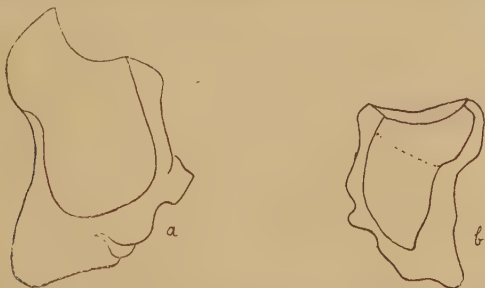


Fig. 49, *a* et *b*. — L'épiphyse inférieure radiale d'un Gorille (*a*) et d'un Chimpanzé (*b*) vue d'en bas.



Fig. 50, *a* et *b*. — L'épiphyse inférieure radiale d'un Européen (*a*) et d'un Japonais (*b*) vue d'en bas.

chez les grands Anthropoïdes un bord antérieur très échancré dans sa moitié externe (fig. 49 *a* et *b*). Dans ce cas, la surface articulaire possède une orientation oblique sur le contour du bord épiphysaire. Cette disposition peut se rencontrer aussi, mais à un moindre degré, chez l'Homme (fig. 50 *a* et *b*).

L'ensemble des faits réunis au cours de cette étude des surfaces articulaires nous permet de faire les remarques suivantes :

Les variations morphologiques des surfaces articulaires analysées sont en rapport avec la nature de chaque arti-

culatation et avec le rôle spécial que les principaux modes d'adaptation des Primates attribuent au membre antérieur.

Les singes arboricoles, grimpeurs et sauteurs, présentent des surfaces articulaires relativement très réduites, à petit rayon de courbure et permettant des mouvements très vifs, mais de faible amplitude.

Les singes marcheurs terrestres présentent des surfaces articulaires plus étendues et à grand rayon de courbure. Il y a ainsi chez eux, en même temps qu'une augmentation de l'amplitude des mouvements, un accroissement de la résistance des os à leur extrémité articulaire.

Les Primates, adaptés d'une façon plus ou moins parfaite à la marche bipède et dont le membre antérieur est plus ou moins complètement libéré de son contact avec le sol, présentent un élargissement considérable de leurs épiphyses avec le plus grand développement des surfaces articulaires. De ce fait, leur membre antérieur acquiert une très grande amplitude et une très grande variété de mouvements.

Un développement extrême de la tête humérale est le seul phénomène de convergence provoqué par l'adaptation à la suspension arboricole, les modifications des surfaces articulaires du coude et du poignet étant surtout la conséquence des adaptations supplémentaires (marche arboricole, préhension).

D'une façon générale, on peut dire que chez les Primates marcheurs, arboricoles et terrestres, dont le membre antérieur est autant une colonne de soutien qu'un organe de mouvement, les articulations sont conformées de manière à assurer à la fois le déplacement et l'emboîtement des segments osseux.

Chez les Primates, adaptés à la station verticale, dont le membre antérieur, libéré du sol, sert surtout comme organe de préhension et accidentellement comme organe de soutien, les articulations assurent moins l'emboîtement des segments que leur déplacement.

VIII. — INDICES D'ÉLONGATION ET D'ÉLARGISSEMENT DE L'OLÉCRANE. INDICE DU COL RADIAL

L'olécrâne de tous les Primates, autres que les Anthro-
poïdes et l'Homme, est surmonté d'une apophyse qui

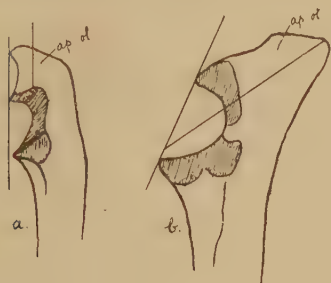


Fig. 51, *a* et *b*. — L'olécrâne avec apophyse d'un Hurleur alouata (*a*) et d'un Théropithèque gelada (*b*).



Fig. 52. — L'olécrâne sans apophyse de l'Homme.

prolonge d'une façon très appréciable la diaphyse cubitale. Cette *apophyse olécranienne* est aplatie dans le même sens que la moitié supérieure de la diaphyse, c'est-à-dire latéralement. Sa direction par rapport à la tangente menée du bec olécranien au bec coronoïdien présente deux cas : celui où l'axe de l'apophyse est parallèle à cette tangente et celui où ce même axe la rencontre obliquement (fig. 51 *a* et *b*).

Le premier cas correspond à la totalité des singes marcheurs exclusivement arboricoles, à la fois grimpeurs et sauteurs. Le second se rencontre uniquement chez les

singes adaptés à la marche terrestre. De plus, dans ce second groupe, l'apophyse olécranienne présente une forte déviation en dedans.

Au point de vue explicatif, l'augmentation de l'olécrâne *en hauteur* a une importance fondamentale.

L'olécrâne des Anthropoïdes et de l'Homme ne présente

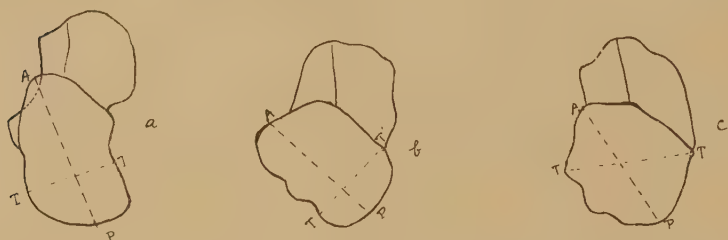


Fig. 53, a-c. — L'olécrâne sans apophyse, vu d'en haut pour montrer l'allongement de ses deux diamètres *AP* et *TT'*.

a. olécrâne d'un Chimpanzé; b. olécrâne d'un Nègre; c. olécrâne d'un Européen.

pas d'apophyse (fig. 52). Il peut augmenter un de ses deux diamètres (antéropostérieur ou transverse) *dans un plan perpendiculaire à l'axe du cubitus* (fig. 53 a-c); autrement dit, l'olécrâne peut s'élargir ou s'allonger.

Pour apprécier l'allongement en hauteur de l'apophyse olécranienne par rapport à la longueur totale du cubitus, chez les singes quadrupèdes, j'ai établi un *indice d'élongation de l'olécrâne* d'après la formule :

$$I = \frac{A \times 100}{C}$$

où *A* représente la longueur de l'apophyse mesurée du bec olécranien jusqu'à sa pointe extrême et *C* la longueur totale du cubitus.

Chez l'Homme et les Anthropoïdes j'ai établi un *indice d'élongation de l'olécrâne* selon la formule :

$$I' = \frac{T \times 100}{A}$$

TABLEAU VII

ESPÈCES	INDICE d'élongation de l'olécrâne.	INDICE d'élargisse- ment de l'olécrâne.	INDICE du col radial.
<i>Tarsius spectrum</i> , PALLAS	6,2	»	11,2
<i>Lepilemur nigricaudatus</i> , GRANDIDIER .	8,6	»	12,1
<i>Lemur mongoz</i> , L.	6,7	»	11,6
— <i>varius</i> , IS. GEOFF.	7,7-9,4	»	11,4-13
— <i>catta</i> , L.	7,5-8	»	12,6-13,1
— <i>albimanus</i> , IS. GEOFF.	8,4	»	13,9
— <i>nigerrimus</i> , SCLAT	8,2-8,4	»	14,7-15,8
<i>Cheiromys madagascariensis</i> , E. GEOFF.	9,2	»	16,9
<i>Perodicticus potto</i> , BOSMAN	6,8	»	15,5
<i>Nycticebus tardigradus</i> , L.	4,5-5,1	»	12,3-16,1
— <i>javanicus</i> , E. GEOFF	4,3	»	15,2
<i>Midas cœdipus</i> , L.	10	»	17,7
— <i>rosalia</i> , L.	8,4	»	15,6
<i>Hapale penicillatus</i> , E. GEOFF	10,4	»	16,5
<i>Cebus</i> sp. ?	7,7-9,2	»	12,6-15
<i>Mycetes seniculus</i> , L.	7,3-9,5	»	13,8-15,3
<i>Ateles paniscus</i> , L.	3,3-4,9	»	12,4-13
— <i>vellerosus</i> , IS. GEOFF.	3,7	»	11,8
<i>Cercocebus fuliginosus</i> , E. GEOFF. . .	7,8	»	13,6
<i>Erythrocebus patas</i> , SCHREB.	7-10,1	»	15,1-16,3
<i>Cercopithecus cephus</i> , L.	7,1	»	12,2
<i>Cynocephalus cynocephalus</i> , E. GEOFF.	9	»	10,7
— <i>babuin</i> , DESM.	9,4	»	13,1
<i>Theropithecus gelada</i> , RÜPP.	9,9	»	11,9
<i>Hamadryas hamadryas</i> , L.	8,5	»	12,6
<i>Macacus rhesus</i> , AUDEB.	9,7-11,5	»	14-14,8
— <i>arctoides</i> , IS. GEOFF.	9,8	»	13,9
<i>Colobus guereza</i> , GRAY	6,9	»	14,7
<i>Semnopithecus maurus</i> , SCHREB . . .	7	»	12,1
— <i>Germani</i> , M. EDW.	5,9	»	12,2
— <i>nasica</i> , F. CUV.	1,9	»	11,7
— <i>nemaus</i> , L.	4,1-4,9	»	11,4-11,5
<i>Hylobates syndactylus</i> , DESM.	»	114-119,2	10,6-11,9
— <i>leuciscus</i> , CANTOR.	»	115,5	9,9
— <i>Rafflesii</i> , IS. GEOFF	»	109	10,3
<i>Simia satyrus</i> , L.	»	97,7-103	10,9-12,6
<i>Anthropopithecus troglodytes</i> , L. . .	»	60,3-90,3	14,1-17,4
<i>Gorilla gina</i> , IS. GEOFF	»	74,4	16,2
— <i>gorilla</i> , WYMAN.	»	81,8-98,4	17,5-18,6
<i>Homo sapiens</i> , L. (Blancs, Europe). .	»	85,9-108	9,4-15,8
— — (Jaunes, Asie)	»	87-110	10,1-16,4
— — (Nègres, Afrique)	»	83-104	11,2-16,3

où T et A représentent les deux diamètres, transverse et antéropostérieur.

Dans le premier cas, une valeur élevée de l'indice exprime une longue apophyse olécraniennne et, dans le second cas, une valeur élevée de l'indice exprime un olécrâne élargi.

Le *col radial* des Primates, mesuré du centre de la tubérosité bicipitale au bord supérieur de la cupule, présente des longueurs variables qui ne sont pas toujours proportionnelles à la longueur totale du radius.

L'allongement du col radial ou, autrement dit, l'éloignement de l'insertion bicipitale par rapport à l'axe articulaire du coude, offre la même importance que l'allongement de l'olécrâne dans les trois sens de l'espace. Aussi ai-je établi un *indice d'élongation du col radial*, calculé de la façon suivante :

$$I'' = \frac{C \times 100}{R}$$

où *C* représente la longueur du col radial et *R* la longueur totale du radius.

Une valeur élevée de l'indice exprimera un col radial allongé et au contraire un col radial court sera exprimé par un indice de valeur réduite.

Les résultats obtenus du calcul de ces trois indices sont inscrits dans le tableau précédent.

Ce tableau nous permet de voir le rapport étroit qui existe, chez les Primates autres que les Anthropoïdes et l'Homme, entre l'*indice d'élongation de l'olécrâne* et l'*indice d'élongation du col radial*.

Il apparaît d'abord que la variation de ces deux indices est assez exactement parallèle. Ensuite nous pouvons constater que l'allongement du col radial est supérieur

à celui de l'apophyse olécranienne, c'est-à-dire que *l'éloignement de l'insertion bicipitale par rapport à l'axe articulaire du coude est plus grand que celui de l'insertion tricipitale par rapport au même axe.*

L'écart entre les valeurs de l'indice de l'olécrâne et celui du col radial est plus considérable chez les espèces arboricoles que chez les espèces terrestres. Il y a en général chez les singes marcheurs terrestres *un plus grand accroissement relatif de l'apophyse olécranienne* et chez les singes arboricoles *un plus grand accroissement relatif du col radial*, accompagné souvent d'une *diminution relative de l'apophyse olécranienne*. La seconde partie de ce travail essaiera de donner l'explication de ces faits.

A première vue, la variation de ces indices dans les diverses espèces semble être sans aucune homogénéité. Mais, en réalité, si on rapproche leurs valeurs de celles de l'indice de robusticité des os de l'avant-bras, on s'aperçoit qu'aux os les plus robustes correspondent les valeurs les plus élevées des indices de l'olécrâne et du col radial. Nous pouvons suivre cette relation dans les différents types d'adaptation aussi bien que dans les variations individuelles.

Cependant le rapprochement qui vient d'être fait ne peut, à lui seul, servir à l'interprétation des variations des deux indices. Il doit être complété par la considération du mode de mouvement des membres antérieurs. Ainsi les espèces qui exécutent avec leurs bras des mouvements de force et de petite amplitude présentent des indices très élevés. Les Primates les meilleurs marcheurs, arboricoles et terrestres, sont dans ce cas (les Makis, les Tamarins, les Ouistitis, et les singes cynomorphes).

Par contre, les espèces qui exécutent avec leurs membres

antérieurs des mouvements de plus grande amplitude, mais aussi moins puissants, présentent des indices réduits (Exemple : les Atèles, en partie les Nycticèbes et quelques Semnopithèques).

Chez les Anthropoïdes et chez l'Homme, l'*indice d'élargissement de l'olécrâne* varie aussi dans le même sens que celui du col radial. De plus, ici encore, ces deux indices présentent une variation parallèle à celle de l'indice de robusticité des os de l'avant-bras. Ce sont les Gibbons, dont les mouvements atteignent le maximum d'amplitude, qui possèdent l'olécrâne le plus large transversalement. Les Chimpanzés et les Gorilles, singes à bras puissants, présentent, au contraire, l'olécrâne le plus allongé d'avant en arrière. Quant à l'Homme, il peut présenter tantôt l'un tantôt l'autre de ces caractères. Les Européens et les Japonais possèdent fréquemment un olécrâne large; celui des Nègres, au contraire, est le plus souvent allongé.

Si nous ajoutons que chez tous les Primates, une longue apophyse olécranienne et un olécrâne allongé signifient en réalité une insertion éloignée des triceps par rapport à l'axe articulaire, nous pouvons constater dans les deux cas une disposition morphologique homologue.

Chez les Anthropoïdes, l'éloignement de l'insertion bicipitale de l'axe articulaire du coude est relativement plus prononcé que celui de l'insertion tricipitale. Chez l'Homme, les éloignements des deux muscles par rapport à l'axe articulaire sont sensiblement les mêmes.

IX. — LA FORME DE L'ESPACE INTEROSSEUX DE L'AVANT-BRAS

La forme de l'espace interosseux de l'avant-bras, dépourvu ou non de ses ligaments, est directement liée,

d'abord, à la présence de deux os indépendants dans le squelette antibrachial et, ensuite, aux modifications propres au radius et au cubitus.

Chez les Primates, l'élargissement de l'espace interosseux, ou son rétrécissement, est fonction de l'incurvation, de l'excavation et de la position réciproque des os de l'avant-bras.

L'étude de cet espace constitue donc un complément utile pour la morphologie du squelette antibrachial, car elle nous fait voir les modifications de ce squelette dans leur ensemble.

Une première constatation qui s'impose est que le maximum de largeur de l'espace interosseux s'obtient dans la position *habituelle*, ou normale, des os qui le limitent. En dehors de cette position l'espace interosseux diminue.

Ainsi chez les singes arboricoles, grimpeurs et sauteurs, il est à son maximum dans une position intermédiaire entre la demi-pronation et la supination complète, le radius ne croisant nullement le cubitus.

Chez les espèces terrestres, son maximum se trouve dans une position de pronation incomplète, le radius croisant le cubitus dans la moitié supérieure de l'avant-bras. Chez les Anthropoïdes, le maximum interosseux se trouve dans une position de légère supination sans croisement des os qui le limitent et enfin chez l'Homme il est à son maximum dans une position qui peut varier entre la légère supination et une demi-pronation accentuée, le croisement des os ne se faisant que dans ce dernier cas, et dans leur partie proximale.

Une série de schémas peuvent nous donner une idée de la forme et des dimensions que peut atteindre l'espace

interosseux dans ses principales variations. Celles-ci, nous pouvons les ramener à *trois types* principaux :

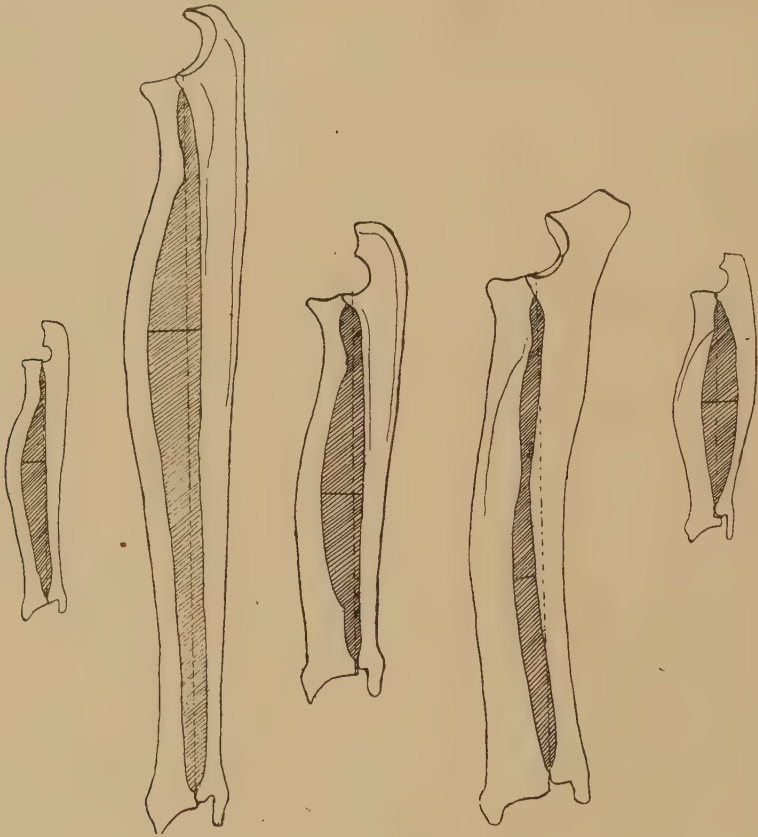


Fig. 54.

Fig. 55.

Fig. 56.

Fig. 57.

Fig. 58.

Fig. 54-60. — L'espace interosseux chez les divers Primates. Le maximum de largeur est indiqué par un trait plein; la ligne qui réunit les articulations radio-cubitales supérieure et inférieure est indiquée par un pointillé.

Fig. 54. — *Midas marikina* (?). — Fig. 55. — *Hylobates syndactylus* (A-10936). — Fig. 56. — *Lemur varius* (1913-264). — Fig. 57. — *Theropothicus gelada* (1904-161). — Fig. 58. — *Perodicticus potto* (1903-720).

Le *premier* peut être caractérisé de la manière suivante : des deux os qui limitent l'espace interosseux, seul le radius s'incurve, le cubitus conservant une dia-

physe rectiligne. L'espace a une forme semi-elliptique très allongée, son maximum de largeur se place au niveau du tiers supérieur ou du tiers moyen de l'avant-bras (fig. 54 et 55) ou, au contraire, dans son tiers infé-

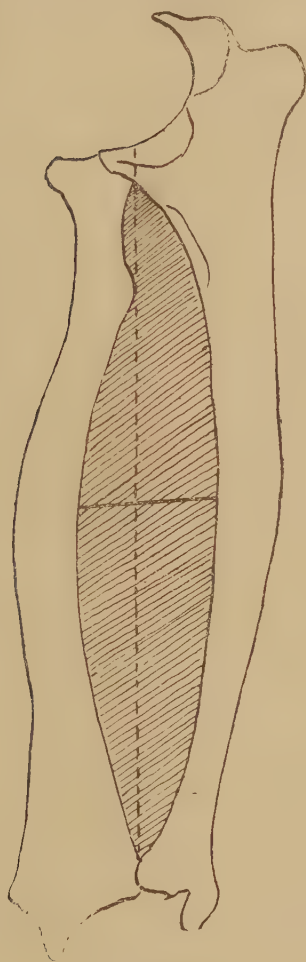


Fig. 59.



Fig. 60, a et b.

Fig. 59, 60, a et b. — Même légende que pour les figures 54 à 58.

Fig. 59. — *Antropopithecus troglodytes* (A-12761). — Fig. 60, a et b. — Variations de l'espace interosseux chez l'Européen.

rieur (fig. 56), suivant que la plus forte incurvation du radius a lieu dans la région supérieure ou inférieure de l'os. Une ligne qui réunit les articulations radio-cubitales,

supérieure et inférieure, suit de très près le bord radial du cubitus. Elle est parallèle à l'axe de la diaphyse cubitale. Ce premier type représente la disposition qu'on rencontre fréquemment dans les espèces adaptées aussi bien à la marche qu'à la suspension arboricoles.

Le *second type* se caractérise par l'incurvation dans le même sens — antéro-postérieur — des deux os et par une *réduction* considérable de l'espace interosseux qui devient très allongé et aminci, et dont la largeur maxima se place dans la moitié inférieure de l'avant-bras. La ligne qui réunit les deux articulations radio-cubitales passe seulement par une petite partie de la diaphyse cubitale (fig. 57).

Cette disposition qui réalise une réduction de l'espace interosseux est rencontrée souvent chez les Cynocéphalles, chez le Théropithèque et plus rarement chez les autres singes cynomorphes.

La réduction de l'espace interosseux de l'avant-bras est, comme on le sait, poussée à ses limites extrêmes chez les Mammifères ongulés, si bien que ce caractère peut très bien exprimer le degré d'adaptation à la marche quadrupède d'une espèce quelconque.

Enfin dans le *troisième type* le radius et le cubitus s'incurvent chacun en sens contraire et les courbures de leurs diaphyses sont presque de la même hauteur (fig. 58 et 59). L'espace de forme ovoïde lenticulaire à son maximum de largeur au milieu de l'avant-bras.

La ligne qui réunit les articulations radio-cubitales passe entre les deux os à une distance presque égale de l'un et de l'autre.

Cette disposition qui, contrairement à la précédente, représente un agrandissement appréciable de l'espace

interosseux se retrouve chez quelques Lémuriens (fig. 58) et chez les grands Anthropoïdes.

L'Homme possède plutôt un espace du premier type, dont la largeur maxima est placée à des niveaux différents. Chez lui, l'augmentation ou la réduction de l'espace est conditionnée surtout par la disparition ou l'accentuation des crêtes interosseuses (fig. 60 *a* et *b*).

La seconde partie de ce travail essaiera de dégager les raisons des variations dans l'étendue et la forme de l'espace interosseux antibrachial.

X. — LA TORSION DE L'HUMÉRUS. ANGLE DE TORSION

L'étude de la « torsion » de l'humérus, entreprise pour différentes raisons par de nombreux auteurs, fait partie de ce travail, parce qu'elle aide à comprendre, en partie, les changements de position des surfaces articulaires de l'épaule et du coude.

J'ai mesuré l'angle de torsion selon la méthode de BROCA et avec son tropomètre. Je dois ajouter ici que le tracé de la « méridienne humérale », impose l'annotation suivante : chez les singes marcheurs, cette méridienne passe presque toujours par le milieu de la coulisse bicapitale et par le pôle de la tête humérale, tandis que chez les Anthropoïdes et chez l'Homme elle passe assez exactement, comme l'a indiqué BROCA par la grosse tubérosité et par le pôle.

Les résultats obtenus sont ceux consignés dans le tableau ci-contre.

Ces résultats, avec de légères modifications, confirment ceux des études de BROCA et de celles qui les ont suivies¹.

1. Voir *Historique et Bibliographie*.

TABLEAU VIII

ESPÈCES	ANGLE de torsion humérale.
<i>Tarsius spectrum</i> , PALLAS	87°
<i>Lepilemur nigricaudatus</i> , GRANDIDIER	84°
<i>Lemur mongoz</i> , L.	101°
— <i>varius</i> , IS. GEOFF.	90-99°
— <i>catta</i> , L.	88-96°
— <i>albimanus</i> , IS. GEOFF.	88°
— <i>nigerrimus</i> , SCLAT.	87-93°
<i>Cheiromys madagascariensis</i> , E. GEOFF.	79°
<i>Perodicticus potto</i> , BOSMAN.	85°
<i>Nycticebus tardigradus</i> , L.	86-90°
— <i>javanicus</i> , E. GEOFF.	90°
<i>Midas œdipus</i> , L.	98°
— <i>rosalia</i> , L.	110°
<i>Hapale penicillatus</i> , E. GEOFF.	90°
<i>Cebus</i> sp. ?	94-98°
<i>Mycetes seniculus</i> , L.	90-91°
<i>Ateles paniscus</i> , L.	95-100°
— <i>vellerosus</i> , IS. GEOFF.	105°
<i>Cercocebus fuliginosus</i> , E. GEOFF.	103°
<i>Erythrocebus patas</i> , SCHREB.	97-110°
<i>Cercopithecus cephus</i> , L.	103°
<i>Cynocephalus cynocephalus</i> , E. GEOFF.	105°
— <i>babuin</i> , DESM.	96°
<i>Theropithecus gelada</i> , RÜP.	97°
<i>Hamadryas hamadryas</i> , L.	96°
<i>Macacus rhesus</i> , AUDEB.	101-106°
— <i>arctoides</i> , IS. GEOFF.	109°
<i>Colobus guereza</i> , GRAY	110°
<i>Semnopithecus maurus</i> , SCHREB.	98°
— <i>Germaini</i> , M. EDW.	97°
— <i>nasica</i> , F. CUV.	120°
— <i>nemaeus</i> , L.	98-104°
<i>Hylobates syndactylus</i> , DESM.	120-125°
— <i>leuciscus</i> , CANTOR	126°
— <i>Rafflesii</i> , IS. GEOFF.	128°
<i>Simia satyrus</i> , L.	123-127°
<i>Anthropopithecus troglodytes</i> , L.	111-138°
<i>Gorilla gina</i> , IS. GEOFF.	138°
— <i>gorilla</i> , WYMAN.	130-136°
<i>Homo sapiens</i> , L. (Blancs, Europe).	142-180°
— — (Jaunes, Asie).	139-175°
— — (Nègres, Afrique).	128-160°

La torsion augmente chez les Primates, des Lémuriens à l'Homme.

Si l'on tient compte des limites extrêmes entre lesquelles il varie, on constate que l'angle de torsion atteint des valeurs plus élevées chez l'Européen et chez le Japonais que chez le Nègre. De plus, un grand angle de torsion ($160-170^\circ$) est très fréquent chez les Européens, alors que chez les Nègres c'est un petit angle de torsion ($130-140^\circ$) qui domine. Les Japonais présentent fréquemment un angle moyen (150°). L'angle de torsion est plus grand chez la femme et les sujets maigres que chez les hommes robustes. En outre, cet angle permet d'établir, qu'en ce qui concerne la limitation des mouvements du membre antérieur à une seule direction de l'espace (antéro-postérieure), les Lémuriens sont plus rapprochés des vrais quadrupèdes que les singes cynomorphes adaptés à la marche terrestre.

Enfin si nous considérons l'étendue des variations individuelles de l'angle de torsion dans les espèces et dans l'Homme, nous constatons que cette étendue est de quelques degrés seulement chez tous les singes marcheurs, qu'elle s'élève chez les Anthropoïdes (17° chez le Chimpanzé) et atteint le maximum chez l'Homme, où cette même étendue de variation est de 52° ($128-180^\circ$).

XI. — OBSERVATIONS D'ENSEMBLE SUR LA PREMIÈRE PARTIE

D'une façon générale les données de cette première partie conduisent à la constatation suivante : les dispositions morphologiques variées du squelette brachial et antibrachial des Primates résultent de phénomènes de convergence.

Dans l'analyse des principaux caractères nous avons pu distinguer partout un premier type arboricole-sauteur, un second plus spécialement grimpeur, un troisième adapté à la marche terrestre et un dernier préhenseur à membres antérieurs, plus ou moins libérés du sol.

L'adaptation à la marche terrestre des singes cynomorphes est loin d'être celle d'une quadrupédie exclusive. La plupart des caractères de leur squelette brachial et antibrachial présentent des dispositions communes aux marcheurs et aux arboricoles.

Parmi les singes arboricoles exclusifs on peut distinguer deux types : l'un à mouvements agiles, rencontré chez le *Tarsius* et la majorité des Lémuriens ainsi que chez les Hapalidae ; l'autre à mouvements plus lents, rencontré chez les Pérodictiques, les Nycticèbes, les Hurlleurs et les Ateles. Quant au *Cheiromys*, il paraît être de mouvements moins lents qu'on se le représente d'habitude.

Les caractères des os du bras et de l'avant-bras rapprochent davantage l'Orang du Gibbon que des autres grands Anthroïdes. De même le Chimpanzé ne paraît différer du Gorille que par sa moindre robusticité.

La gracilité du squelette brachial et surtout celle du squelette antibrachial des Nègres est en rapport avec un ensemble de modifications morphologiques qui les éloignent des Japonais et des Blancs.

Les Japonais, par la plupart des caractères étudiés précédemment, se placent entre les Nègres et les Européens. Aussi, les essais d'explication de la seconde partie porteront-ils particulièrement sur les termes extrêmes de la série humaine.

Les corrélations morphologiques entre les diverses

parties d'un même os long du membre antérieur, corrélations qu'expriment les tableaux contenus dans la première partie de l'ouvrage, constituent, pour la considération des facteurs morphogéniques, un point de départ indispensable.

Enfin dans la série des Primates on peut distinguer deux types morphologiques opposés qui, au point de vue mécanique, correspondent à un type de vitesse et de grande amplitude et à un type de force et de faible amplitude.

Dans le *premier type*, les os longs du membre antérieur sont minces, dépourvus de relief, avec de faibles déformations et des surfaces articulaires développées, mais à petit rayon de courbure. Les fléchisseurs et les extenseurs de l'avant-bras ont un court bras de levier.

Dans le *second type*, les mêmes os sont robustes, à relief prononcé, avec de fortes déformations et des surfaces articulaires moins développées, mais à grand rayon de courbure. Les fléchisseurs et les extenseurs de l'avant-bras ont un long bras de levier.

Il va presque sans dire qu'il existe entre le premier et le second type des formes de transition et que les différences constatées entre l'un et l'autre sont d'ordre purement quantitatif.

CHAPITRE IV

MORPHOGÉNIE

I. — LE PROBLÈME DE L'ALLONGEMENT ET DE LA ROBUSTICITÉ DES SEGMENTS OSSEUX

Les données morphologiques de la première partie nous ont fait voir que l'allongement des segments osseux se fait aux dépens de leur robusticité ; il en résulte donc que la présence de ces deux caractères à la fois s'exclut sur un même os. Aussi est-il indispensable de les étudier ensemble.

Depuis longtemps nous connaissons que la croissance des os en épaisseur est produite par l'excitation de leur périoste et la croissance en longueur par l'excitation de leur cartilage de conjugaison. De fortes pressions exercées sur les deux extrémités des os longs empêchent leur croissance intercalaire et par la suite leur allongement, favorisant, au contraire, leur épaississement. D'autre part, nous savons aussi que l'activité musculaire a une action directe sur la nutrition et la croissance des os.

D'après MANOUVRIER (25), les facteurs qui influent sur l'allongement des os seraient les suivants : la pression verticale d'une part, la suractivité ou l'inaction musculaire d'autre part.

En réalité, si on se borne à la considération de ces seuls facteurs, leurs actions peuvent paraître souvent contradictoires.

Pour arriver à une idée rapprochée du mécanisme d'allongement des segments osseux, il faut encore tenir compte des exigences mécaniques qu'impose le mode de vie de chaque espèce et de chaque individu.

Les singes arboricoles suspendus, les marcheurs arboricoles plus ou moins adaptés à la marche terrestre, les Anthropoïdes et l'Homme représentent les trois types définis d'adaptation des Primates. De ces trois types, celui des Anthropoïdes et de l'Homme représente un type intermédiaire.

Dans le premier cas (suspension), les membres supérieurs ont tout le poids du corps à soulever. Dans le second cas, les membres antérieurs n'ont qu'une partie du poids du corps à supporter dans la station et à soulever dans la marche. Encore ce dernier rôle est-il assez réduit, puisque le déplacement du corps est surtout effectué par les membres postérieurs.

Le membre supérieur de l'Homme pend verticalement le long du corps, son centre de gravité a son point d'application à l'articulation scapulo-humérale ; par conséquent il n'a que son propre poids à supporter.

Dans le *premier cas* celui des Gibbons et des Atèles et seulement dans l'attitude de suspension, le point d'application du poids du corps est à la main. Ce sont, tout d'abord, la plupart des muscles de l'avant-bras, franchissant deux articulations à la fois, qui doivent faire équilibre au poids soulevé.

La suspension arboricole impose l'extension des segments. Une suspension avec contraction des fléchisseurs

de l'avant-bras serait fatigante et l'animal l'éviterait. Il est bon de rappeler à ce propos les intéressantes remarques d'IMBERT (117) qui a essayé de mettre en évidence le mode de *fonctionnement économique* de l'organisme et le choix que celui-ci opère dans l'utilisation de ses forces musculaires. Les Gibbons et les Ateles ont d'ailleurs l'extension de leurs bras facilitée par la légèreté de leur corps.

Par conséquent une suspension habituelle est toujours accompagnée d'une extension des segments. Cette donnée physiologique entraîne une conséquence d'ordre mécanique, à savoir que toute la résistance appliquée à la main, se transmet à l'épaule presque en ligne droite, par l'intermédiaire des articulations du poignet et du coude. Dans cette attitude la composante de rotation des muscles de l'avant-bras devient presque nulle, alors que leur composante longitudinale est maxima. Le travail de ces muscles est surtout localisé au niveau des articulations. Il s'ensuit une diminution de leur partie contractile. Ainsi les fibres du long-supinateur se tendinifient sur une grande partie de leur trajet, le rond-pronateur recule son insertion jusqu'au tiers supérieur du radius, et tous les fléchisseurs et extenseurs des doigts sont tendinisés sur une très grande longueur. Une action fréquente des muscles, suivant leur composante longitudinale, doit avoir aussi des conséquences directes au point de vue de la morphogénie osseuse.

Astreints à agir surtout dans le sens de la longueur des segments osseux, les muscles n'exigent pas d'insertions étendues sur la surface des os longs du bras et de l'avant-bras. C'est ainsi que chez le Gibbon et chez l'Atele ces os sont non seulement minces, mais parfaitement arrondis.

D'autre part, l'extension du coude dans la suspension arboricole constitue une attitude extrême qui met en jeu la résistance physique des muscles après avoir vaincu leur contraction tonique.

Toute la force qui pourrait servir à faire appliquer les surfaces articulaires les unes contre les autres se trouve annihilée pendant la suspension par la traction mécanique qui s'exerce sur les muscles.

Il est donc permis de supposer que, dans ce cas, les cartilages de conjugaison sont moins comprimés et la croissance enchondrale plus active.

En pure théorie, les trois segments du membre supérieur devraient s'allonger proportionnellement à l'importance de la traction que subissent leurs muscles et leurs ligaments, c'est-à-dire, par ordre décroissant : la main, puis l'avant-bras, enfin le bras. Si, en réalité, il n'en est que partiellement ainsi, c'est qu'aucun singe (les Atèles et les Gibbons y compris) n'use exclusivement de la suspension arboricole. En effet, le Gibbon est, avec le Gorille, le plus bipède de tous les Anthropoïdes, tandis que l'Atèle emploie fréquemment la marche arboricole. En outre, il faut ajouter que la main a ses facteurs propres de développement.

Dans l'étude détaillée que MOLLISON (33) a faite des proportions du corps chez les Primates, on trouve, chez le Gibbon, la longueur de l'avant-bras, par rapport au tronc, exprimée par un indice de 97,8 et chez l'Atèle par un indice de 68. La longueur de la main, par rapport au tronc, n'atteint qu'un indice de 63,4 chez le premier et de 51 chez le second.

Quoi qu'il en soit, un fait fondamental se dégage de ces considérations sur l'adaptation à la suspension arbo-

ricole : *l'extension des segments osseux paraît favoriser leur allongement aux dépens de leur développement en largeur.*

Le *second cas* est celui de l'adaptation à la marche arboricole ou terrestre. La plupart des singes d'Amérique et les Cercopithécidæ peuvent ici servir d'exemple. Dans ce cas, l'animal est quadrupède et ses membres constituent des colonnes de soutien disposées suivant des lignes brisées. Les os longs du bras, de l'avant-bras et de la main forment entre eux des articulations angulaires. La fermeture plus ou moins grande des angles successifs de l'épaule, du coude et du poignet a une grande importance au point de vue des conditions du travail musculaire. La contraction synergique des fléchisseurs (biceps) et des extenseurs (triceps) règle l'ouverture des deux premiers angles. L'angle du poignet est sans doute en fonction des deux angles précédents, mais il dépend aussi de la conformation particulière de la main.

Les Lémuriens ont les trois angles plus fermés que les marcheurs terrestres. Chez eux l'angle du coude est particulièrement fermé. La fosse olécraniennne est si peu profonde qu'elle indique que l'extension maxima du coude atteint à peine un angle de 120°.

Les Hapalidæ ont un angle du coude un peu plus ouvert que les types précédents et celui des singes cynomorphes atteint le maximum d'ouverture, c'est-à-dire 150° environ. Chez tous les singes marcheurs, l'angle normal ou l'angle moyen du coude est beaucoup inférieur à celui d'extension maxima.

L'inclinaison des leviers soustrait en partie l'os aux pressions et favorise surtout le glissement des surfaces articulaires, c'est-à-dire leur déplacement. Plus l'angle

est fermé, plus les conditions du travail des muscles sont favorables. Tel est le cas des Lémuriens où le biceps, en s'insérant à angle droit sur le radius, utilise toute sa force. Les fléchisseurs et les extenseurs en état de tonicité permanente pour empêcher la fermeture de l'angle du coude voient leur partie contractile se développer aux dépens de leurs tendons. Ce qui frappe d'abord en effet dans la dissection d'un bras de Lémurien c'est l'énorme développement de la partie charnue des muscles.

Une autre conséquence de la fermeture de l'angle du coude est l'éloignement des insertions musculaires de part et d'autre de l'articulation.

Ainsi, le recul du rond-pronateur vers le poignet a été souvent cité par les auteurs et observé par moi-même, chez un Maki et chez un Cheiromys. Le long-supinateur et le brachial antérieur remontent au contraire sur l'humérus. De la position très oblique de l'avant-bras par rapport à l'horizontale et de l'inclinaison d'avant en arrière du bras, il résulte que la pression sur les deux extrémités de l'avant-bras est minime, ce qui permet un développement en longueur du radius et du cubitus. Par contre, l'humérus se trouve comprimé à ses deux extrémités et sa croissance en longueur est de ce fait entravée. La croissance en épaisseur est très forte pour les deux segments, comme le montrent leurs indices de robusticité très élevés ; mais alors que l'humérus croît surtout en épaisseur, le radius et le cubitus, ayant une croissance active en longueur comme en épaisseur arrivent à s'allonger davantage que l'humérus. Ainsi s'expliquerait l'inégalité assez accentuée entre la longueur des deux segments. Il faut ajouter que les Lémuriens, sauf de rares exceptions, sont également adaptés au saut. Ce

mode de locomotion exige une forte et fréquente fermeture de l'angle du coude, ce qui expliquerait peut-être cette attitude de flexion prononcée de l'avant-bras sur le bras qui est une des causes de l'inégalité entre les segments.

L'angle du coude des singes marcheurs terrestres s'ouvre suivant un processus probablement analogue à celui qui provoque le redressement des membres des Ongulés notamment de certains Proboscidiens. L'accroissement du poids du corps, uni à la réaction d'un sol ferme et aux nécessités mêmes de la marche, détermine sans doute une ouverture plus grande de l'angle du coude ainsi qu'une digitigradie de plus en plus accentuée.

Les quadrupèdes caractérisés ont également les os du bras et de l'avant-bras, placés dans des conditions défavorables pour la croissance en longueur. C'est la main et surtout les os métacarpiens qui contribuent à l'allongement du membre tout entier. Ici encore la main est en extension sur l'avant-bras et la régression des muscles de cette partie du membre est trop connue pour qu'il y ait besoin d'y revenir.

Si les choses ne se passent pas exactement de la même façon chez les Singes marcheurs terrestres et même chez les Cynocéphales, les plus quadrupèdes de tous, c'est que, ainsi que nous l'avons déjà dit, leur adaptation à la marche sur le sol est imparfaite. Toute la structure du membre supérieur des singes cynomorphes, se ressent d'une adaptation mixte, arboricole et terrestre. Quoiqu'il en soit, la plupart d'entre eux, surtout les Cynocéphales, montrent déjà une tendance à la digitigradie et à l'allongement de la partie distale du membre, allongement qui retentit sur leur avant-bras. De plus, la marche et la sta-

tion à angles articulaires fermés font augmenter chez eux la robusticité des os comme dans le cas des marcheurs arboricoles. Cette robusticité est proportionnelle à l'augmentation des surfaces d'insertion des muscles dont le volume devient considérable. On est en droit, par conséquent, de conclure que *la flexion angulaire, employée dans la marche et dans la station, favorise la robusticité des segments osseux aux dépens de leur allongement.*

Le troisième cas est celui de l'adaptation à la marche bipède, avec libération plus ou moins complète de la main.

La description de DU CHAILLU rapportée par BREHM, est sans doute une des meilleures qu'on possède sur la marche et les attitudes du Gorille. Elle présente cet animal comme étant très peu grimpeur. Le Chimpanzé est légèrement plus grimpeur que le Gorille, et l'Orang est presque exclusivement grimpeur. Cependant tous les trois peuvent employer une marche quadrupède qui leur est particulière. Les doigts ne s'étendent pas comme dans le cas de tous les marcheurs plantigrades, au contraire ils se ferment et c'est leur face dorsale qui fournit le point d'appui. Le corps de ces singes étant très oblique, les membres antérieurs ne supportent qu'un poids relativement faible. Enfin le Gorille et le Chimpanzé en particulier peuvent aussi recourir à la marche bipède qui est, sans doute, maladroite, mais qui existe d'une manière indéniable.

On peut donc affirmer que l'attitude du membre supérieur de ces deux grands Anthropoïdes, au repos comme au mouvement, est plus rapprochée de celle de l'Homme que de celle des autres singes.

Or, si nous partons du type humain où le bras est pour

ainsi dire suspendu à l'épaule, nous pouvons faire les considérations suivantes :

La pesanteur qui agit suivant le poids du bras tout entier, est appliquée à l'articulation scapulo-humérale. La force principale qui lui résiste est celle du deltoïde. Ce muscle est d'autant plus volumineux que le poids à équilibrer et à déplacer est plus considérable. Je pense qu'on peut attribuer à ce fait la descente de l'insertion du deltoïde jusqu'à la moitié inférieure de l'humérus. Chez quelques Gorilles j'ai vu les rugosités correspondant à ce muscle descendre jusqu'au tiers inférieur de l'os.

La sollicitation de la pesanteur sur le bras semble être le facteur principal qui provoque l'inégalité entre les segments osseux du membre supérieur de l'Homme. Cette inégalité est de plus influencée par les conditions du travail musculaire. On peut faire à ce sujet sur le vivant une observation intéressante. L'angle d'extension du coude dans sa position de repos est beaucoup plus ouvert chez les sujets maigres et chez les femmes en général que chez les sujets robustes. Or, on observe que l'allongement du membre entier est plus considérable chez les premiers que chez les derniers.

Cet allongement est, sans doute, en rapport direct avec l'existence, chez les sujets maigres et chez les femmes, de mouvements de peu de force, mais de grande amplitude.

ANTHONY et HAZARD (1), en 1905, ont fait à l'occasion de la dissection d'un Nègre de l'Oubangui des remarques qui sont de nature à confirmer cette manière de voir :

« On peut toujours constater chez l'Homme, disent ces auteurs, l'existence de ces deux types, l'un à muscles longs et plats et à mouvements amples et peu vigoureux,

l'autre à muscles courts et gros et à mouvements peu amples et très puissants. »

D'après les mêmes auteurs, la compression que les muscles exercent les uns sur les autres déterminerait une transformation tendineuse des parties musculaires le plus fortement comprimées. Il en résulterait que chez les individus très musclés les tendons sont plus longs. Cela revient à dire que leurs muscles sont plus courts « puisque ce que le tendon gagne le muscle le perd ».

On peut se rendre compte de cette façon comment le développement transversal des muscles entraîne la diminution de l'amplitude des mouvements et impose une ouverture moins grande de l'angle du coude, à l'état de repos. Chez les sujets maigres, au contraire, l'amplitude des mouvements augmente et dans la même mesure l'angle du coude, à l'état de repos, s'ouvre.

D'autre part, comme il a été déjà dit, la croissance en épaisseur des os longs est proportionnelle à l'augmentation des surfaces d'insertion des muscles. Ceci expliquerait pourquoi chez les sujets robustes on constate des membres antérieurs courts et épais, et chez les sujets maigres et chez les femmes en général des membres antérieurs minces et longs.

Il est donc permis de supposer que l'*extension habituelle du bras favoriserait, dans le cas de l'Homme aussi, l'allongement des os aux dépens de leur robusticité.*

Il resterait à expliquer l'allongement relatif des os de l'avant-bras chez les Nègres. On a attribué ce caractère à la persistance d'un état préhumain. Ceci est possible, mais n'explique nullement cet allongement.

Quelques données de la morphologie du squelette anti-

brachial des Nègres nous renseignent plus exactement. Ainsi, la cupule radiale et la surface carpienne du radius toutes deux sans profondeur, l'espace interosseux assez rétréci et le manque de relief du radius et du cubitus, démontreraient que les mouvements de la main, régis par les extenseurs et les fléchisseurs, n'ont point la force ni l'ampleur de ceux des Blancs. Cette diminution relative des mouvements de force chez les Nègres expliquerait en grande partie l'allongement de leur squelette antibrachial, grâce à la faible compression exercée sur les cartilages de conjugaison.

Chez l'Européen, au contraire, l'usage complexe de la main provoque une grande activité des muscles de l'avant-bras. Ceux-ci compriment le squelette antibrachial à ses extrémités d'autant plus que ce sont les mouvements de force qui dominant. La nutrition des os étant plus abondante et leur périoste plus excité, la croissance en épaisseur est par la suite favorisée au détriment de la croissance en longueur.

Le Gorille, dont la force des bras est citée comme très grande par tous les auteurs, possède un avant-bras très réduit. Son énorme espace interosseux, la grande profondeur des surfaces articulaires radio-cubitales, supérieures et inférieures, plaident suffisamment en faveur de l'interprétation du raccourcissement des segments osseux par la compression.

En ce qui concerne l'allongement et la robusticité des os longs du membre supérieur, les considérations qui précèdent permettent de tirer les conclusions suivantes :

1° L'extension angulaire plus ou moins prolongée favorise le développement en longueur des os aux dépens de leur robusticité.

2° La compression exercée sur les extrémités articulaires des os favorise leur développement en épaisseur.

3° L'augmentation de l'activité musculaire favorise aussi la robusticité des os aux dépens de leur longueur.

II. — L'INCURVATION ET L'APLATISSEMENT DES DIAPHYSES

Ces deux phénomènes sont provoqués par le mode d'action des muscles et par la résistance spécifique du tissu osseux.

Ils représentent souvent deux phénomènes parallèles et c'est pourquoi il est utile de les envisager en même temps.

Les déformations de la diaphyse humérale. — Nous avons vu dans la première partie du travail que les valeurs des angles supérieur et inférieur de déviation humérale varient en sens contraire. — L'angle supérieur est très grand chez les singes marcheurs, arboricoles et terrestres et il diminue chez les Primates dont le membre antérieur exécute des mouvements de grande amplitude et de latéralité. La seule constatation de ce fait nous met sur la voie de l'explication.

L'attitude habituelle du membre et le degré d'angulation de ses segments doivent nous servir de point de départ. La considération du mode de mouvement et de station de l'animal est indispensable pour la compréhension du mécanisme des principaux muscles qui déterminent les déviations de l'humérus.

Étudions d'abord les facteurs qui peuvent provoquer *la déviation humérale supérieure*.

Nous savons que les trois parties du triceps brachial ont des insertions d'origine différente : la longue portion

s'insère sur l'omoplate, tandis que les deux vastes externe et interne s'insèrent sur la face postérieure de l'humérus. Quant à l'insertion mobile elle a lieu pour les trois parties sur l'apophyse olécraniennne.

Chez tous les singes marcheurs, comme chez les quadrupèdes en général, le vaste externe dont l'insertion se fait principalement sur le tiers supérieur de l'humérus est plus puissant que le vaste interne.

La contraction des extenseurs agit non seulement sur l'avant-bras en provoquant l'ouverture de l'angle du coude



Fig 61. — Schéma destiné à montrer l'augmentation du bras de levier du biceps (*bo*) résultant d'une forte déviation supérieure de l'humérus chez les singes marcheurs.



Fig. 62. — Schéma destiné à montrer la légère augmentation du bras de levier du deltoïde, résultant d'une forte déviation supérieure de l'humérus chez les singes marcheurs ($ib > ia$).

et par suite le soulèvement du train antérieur, mais elle agit aussi sur l'omoplate en fermant l'angle de l'épaule.

Cela n'entraînerait aucune modification du squelette si l'animal était constamment en mouvement. Mais, dans la station debout, il faut qu'il y ait contraction synergique des extenseurs et du biceps, pour que les angles soient maintenus dans un degré d'ouverture convenable, lequel degré est certainement en rapport avec le poids de l'animal. Ce degré d'ouverture est de plus maintenu par le deltoïde dont l'insertion parallèle à l'humérus met cet os dans des conditions de travail très défavorables, comme

c'est d'ailleurs le cas chez tous les autres types d'adaptation des Primates. Le deltoïde ajoute son action à celle du biceps et contribue à neutraliser l'effet de la contraction du long triceps. De cette façon et grâce à ce déploiement de forces considérables l'omoplate est immobilisée.

Dans cette synergie musculaire, la tension du vaste externe représente une force indépendante, non neutralisée, qui entre en jeu en même temps que celle produite par les autres parties du triceps. Aussi le vaste externe exerce-t-il une traction sur la partie proximale de l'humérus et arrive ainsi à la dévier progressivement. Une pareille modification est en même temps avantageuse parce qu'elle améliore les *moments* musculaires du deltoïde et surtout du biceps en allongeant leurs bras de levier (fig. 61 et 62). La déviation humérale supérieure est en rapport direct avec la puissance qui la provoque. Ainsi, sur les longues diaphyses qui indiquent des mouvements d'amplitude plus que de force, la déviation est plus faible (fig. 63). Cette même déviation chez les Anthroïdes et chez l'Homme est à peine visible parce que le travail que doivent fournir les trois portions du triceps est insignifiant lorsque le membre est au repos et pend librement le long du corps. Dans la flexion du coude, le triceps a une action modératrice et, par conséquent, sa traction sur la diaphyse est nulle.



Fig. 63. — Humérus d'un Hurler alouata. α = angle de déviation humérale supérieure.

Dans l'extension du coude son action est limitée parce que, chez les Anthropoïdes et chez l'Homme, c'est surtout le vaste interne qui acquiert de l'importance.

Il reste à considérer *la déviation humérale inférieure*. Les Anthropoïdes et l'Homme ont l'angle inférieur de déviation plus prononcé à cause des mouvements puissants de flexions exécutés par le biceps et le brachial antérieur. Celui-ci fait déplacer non seulement le segment dit mobile (avant-bras), mais aussi le segment plus ou moins fixe (bras), suivant un mécanisme qui a été mis en évidence par Otto FISCHER (106). L'os mobile est déplacé, tandis que l'os fixe l'est beaucoup moins et par conséquent la traction intervient. L'angle de déviation inférieur est d'autant plus grand que la force mise en jeu est plus considérable. — Aussi est-il plus grand chez les sujets robustes que chez les sujets maigres. Chez l'Homme, dans le cas de rachitisme, la déviation inférieure de la diaphyse peut être exagérée à cause de la faible résistance de l'os.

L'aplatissement latéral de la diaphyse humérale est en partie le résultat de la compression que les muscles enfermés dans leurs gaines aponévrotiques exercent sur elles. C'est ainsi que le méplat qui occupe la région moyenne de la face interne de l'humérus est dû au passage des ventres réunis des deux biceps. Lorsque le biceps a une position plus interne que celle qu'il occupe chez l'Homme, par exemple, il peut provoquer par ses contractions et surtout par sa tonicité une incurvation à concavité interne de la diaphyse humérale; c'est le cas du Gibbon et de l'Orang.

L'aplatissement d'avant en arrière de l'humérus dans sa moitié inférieure ne constitue pas un véritable apla-

tissement, si nous nous plaçons au point de vue morphogénique. Le terme d'*élargissement* serait peut-être plus approprié. Il faut tenir compte de ce qu'à ce niveau de l'humérus l'insertion charnue du brachial antérieur occupe la face antérieure de l'os et l'insertion, également charnue, du vaste interne du triceps sa face postérieure. D'autre part, j'ai toujours remarqué que l'élargissement inférieur de l'humérus, aussi bien chez l'Homme que chez les singes, allait de pair avec une grande robusticité de l'os et avec des mouvements très prononcés de flexion. Chez tous les singes adaptés à la marche sur le sol, qui exécutent des mouvements puissants d'extension et dont les mouvements de flexion sont moins prononcés, la diaphyse est massive dans sa moitié inférieure, mais très peu élargie dans le sens transversal.

L'élargissement du bord externe de l'humérus, qui donne à la moitié inférieure de cet os un aspect dissymétrique et qui est très fréquent chez les Nègres et chez les races dites primitives, doit être mis en rapport avec le fait que, chez eux, le long-supinateur remonte plus haut sur l'humérus que chez les Blancs.

CHUDZINSKI qui s'est spécialement occupé de la myologie des Nègres a rencontré souvent cette particularité et il la considérait même comme leur étant caractéristique.

ANTHONY et HAZARD (1) ont eu l'occasion dans leur dissection, déjà mentionnée, d'un Nègre de l'Oubangui de faire la même constatation.

L'éloignement de l'insertion du long-supinateur sur l'humérus est une conséquence de son action de *fléchisseur* de l'avant-bras. Chez tous les Primates adaptés à la vie arboricole, dont l'angle du coude est très fermé, le long-supinateur, en état de tension permanente, est très puis-

sant et présente une insertion très éloignée par rapport à l'axe articulaire du coude. Chez l'Homme on peut distinguer deux cas, suivant que l'angle d'extension du coude est entièrement ouvert (180°) ou légèrement fermé ($150-160^{\circ}$).

Dans le premier cas, celui des sujets blancs maigres et des femmes en général, le long-supinateur est complètement distendu et son insertion très rapprochée de l'axe articulaire; dans le second cas, celui des Nègres et des sujets Blancs fortement musclés, le long-supinateur est puissant, dans un certain état de tension permanente et son insertion plus éloignée de la ligne articulaire du coude.

Cela nous fait penser que l'élargissement latéral de l'humérus dans sa moitié inférieure constitue une augmentation de la surface d'insertion du long-supinateur et du brachial antérieur et en même temps une augmentation de leur section. C'est donc une forme d'amélioration apportée aux conditions du travail musculaire.

L'augmentation de surface *s'accompagne* presque toujours *d'une excavation de l'os*. Celle-ci ne peut être expliquée que par une accommodation de longueur de la substance contractile qui ne peut pas éloigner ses insertions.

Les raisons données par MANOUVRIER (147) dans l'interprétation de la platycnémie du tibia chez l'Homme pourraient s'appliquer également à l'aplatissement des os longs du membre supérieur. D'après lui, les muscles, qui s'insèrent directement par leurs fibres charnues sur des surfaces osseuses, tendent par leur accroissement à rendre ces surfaces concaves. La raison de leur creusement est double : « En premier lieu une surface d'insertion plane s'agrandit en se creusant; en second lieu, les

fibres les plus excentriques d'un faisceau musculaire immédiatement convergent, qui s'insèrent sur une surface convexe, ont une surface d'insertion oblique par rapport au sens de leur action; tandis qu'une surface concave fournit à toutes les fibres une surface d'insertion perpendiculaire à leur direction. » L'allongement du muscle aux dépens de l'os constituerait donc une autre forme d'amélioration du travail musculaire. Le mécanisme intime de cette adaptation du muscle aux conditions mécaniques est encore inconnu.

L'incurvation, la *forme en S du cubitus*, ainsi que son *aplatissement* s'expliquent en partie si nous tenons compte du rôle que cet os joue dans les mouvements de rotation de l'avant-bras, de la position réciproque des deux os de l'avant-bras et enfin de l'attitude habituelle du membre antérieur.

Le cubitus s'articule à la fois avec l'humérus et avec le carpe chez tous les Primates jusqu'aux Anthropoïdes. Chez ces derniers et chez l'Homme le cubitus est articulé uniquement avec l'humérus.

Le cubitus est aplati et incurvé en arrière chez tous les singes marcheurs, arboricoles et terrestres, sans exclusion; il est arrondi, ou prismatique, chez les Primates dont la bipédie est plus ou moins parfaite. Ce sont là deux faits à rapprocher.

Chez les Lémuriens et chez les singes américains exclusivement arboricoles les os de l'avant-bras se trouvent, à cause des mouvements nécessités par la saisie des branches, dans une demi-supination, ou très légère supination. Cette attitude exclut le croisement du radius et du cubitus.

D'autre part, les mouvements de rotation de l'avant-

bras sont, ainsi que nous l'a montré l'étude des surfaces articulaires radio-cubitales supérieures et inférieures, très limités.

Les fléchisseurs profonds des doigts, le cubital antérieur sur la face de flexion et les extenseurs des doigts avec le cubital postérieur sur la face d'extension se trouvent dans des conditions similaires de travail. Ce sont



Fig. 64. — Schéma destiné à montrer le développement des masses musculaires d'extension (*E*) et de flexion (*F*) d'un avant-bras de Maki.

deux masses musculaires qui compriment et qui excavent l'os avec une intensité presque égale. Ainsi s'expliqueraient l'aplatissement latéral et les excavations qu'il présente également sur ses deux faces.

L'effort de flexion des doigts exigé dans la préhension arboricole étant toutefois un peu plus grand que l'effort d'extension, on observe une légère incurvation de la diaphyse cubitale sous la pression des masses superposées des muscles fléchisseurs qui dépassent en volume celles des muscles extenseurs (fig. 64). Chez les singes cynomorphes ce dernier phénomène s'accroît à la suite du croisement des os de l'avant-bras et d'une pronation accentuée. Les deux schémas *a* et *b*

dans la figure 65, basés sur la dissection, représentent des coupes de l'avant-bras un peu au-dessus de son milieu. Ils montrent clairement le déplacement des os et celui des masses musculaires, de même que la direction et l'intensité de la pression que ces masses peuvent exercer sur les os.

Ils expliquent en même temps comment il se fait que dans les espèces plus exclusivement arboricoles l'incurvation du cubitus soit à concavité interne, tandis que dans les espèces adaptées à la marche terrestre cette même incurvation est à concavité nettement postérieure. Chez les singes marcheurs terrestres, les fléchisseurs des doigts et le cubital antérieur (devenu postérieur) ont une action très puissante au moment où la main quitte le sol.

La *forme en S* du cubitus des Anthropoïdes et de l'Homme, paraît être provoquée en partie par la fréquence et la force des mouvements des fléchisseurs des doigts et du poignet, et en partie par les mouvements très étendus de pronation et de supination de l'avant-bras.

La puissance de contraction des fléchisseurs des doigts et du poignet est très grande chez les Anthropoïdes et chez l'Homme, ce qui est tout à fait en rapport avec le fait que leurs doigts sont presque constamment fléchis. Seul le Gibbon par son mode particulier de locomotion est obligé d'exécuter des mouvements plus amples d'extension de la main et des doigts.

Les deux figures 66 et 67 dessinées d'après mes propres dissections, rendent assez bien compte de l'influence des fléchisseurs du poignet et des doigts sur la déviation supérieure du cubitus.

Cette déviation est toujours en rapport direct avec la robusticité de l'os. C'est ainsi que les cubitus plus gra-

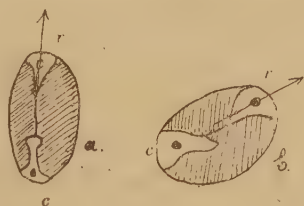


Fig. 65. *a* et *b*. — Coupes schématiques dans l'avant-bras d'un Maki et d'un Cynocéphale. La flèche indique la position habituelle du radius par rapport au cubitus.
 r = radius; c = cubitus.

ciles des Nègres ont en général une déviation supérieure plus faible. Cela prouverait en même temps qu'un *muscle plus long et dont la section transversale est plus réduite produit sur l'os une déformation moins accusée qu'un muscle court et épais.*

La déviation inférieure du cubitus étant dirigée dans

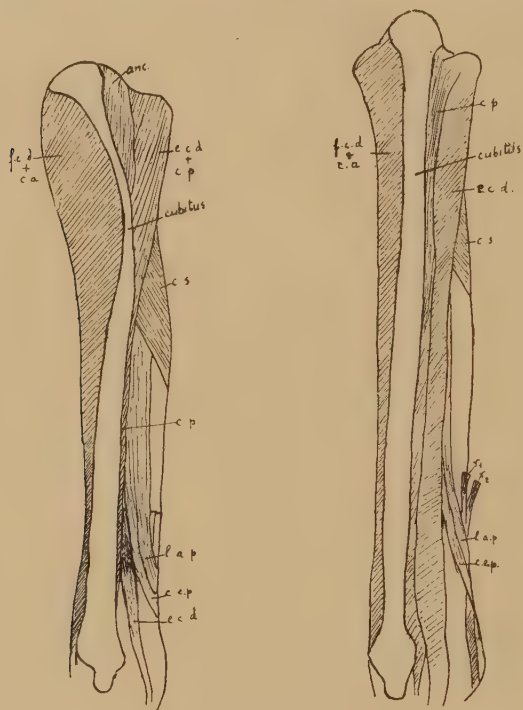


Fig. 66 et 67. — Dispositions des masses musculaires par rapport à la diaphyse cubitale.

Fig. 66. — Chez un jeune Orang. — Fig. 67. — Chez un Gibbon adulte.

le sens de contraction du carré pronateur et de plus étant localisée au même niveau que ce muscle doit être sans doute attribuée à son mode d'action. Dans la rotation du radius autour du cubitus, ce dernier subit un déplacement beaucoup moindre que celui du radius. Dans ce

déplacement l'extrémité inférieure du cubitus est beaucoup plus entraînée que ne l'est son extrémité supérieure si bien qu'on peut attribuer au cubitus un mouvement de pivotement incomplet. Ce mouvement s'exécute autour d'un axe qui passe en haut par l'articulation huméro-cubitale et en bas par un point de l'épiphyse inférieure du radius très rapproché de l'articulation radio-cubitale. Le déplacement du cubitus est *passif*.

Ceci étant posé, il est facile de comprendre qu'un mouvement de pronation extrême puisse déterminer une traction sur le tiers inférieur du cubitus. Cette traction est provoquée par le croisement prononcé des os de l'avant-bras et par la contraction énergique du carré pronateur. C'est pourquoi les avant-bras d'homme qui, au repos, sont dans une attitude de légère pronation (exemple : les Nègres, très souvent les femmes et les sujets maigres), présentent un cubitus avec une déviation inférieure plus accentuée. Cela nous fait penser que la déviation par traction du cubitus, de même que la déviation supérieure de l'humérus, seraient le résultat d'une action morphogénique de *longue durée*.

La *platolénie* du cubitus des Anthropoïdes et de l'Homme n'a rien à voir avec l'aplatissement de cet os chez les autres Primates.

Ce caractère est entièrement en rapport avec l'importance de la crête du court supinateur et avec la profondeur de la fosse où ce muscle prend naissance. Cela est si vrai que partout où le mouvement de supination de l'avant-bras est très prononcé ou fréquent, comme chez le Gorille en particulier et souvent chez l'Homme, le cubitus présente une fosse supinatrice considérable et par conséquent un élargissement transversal de sa dia-

physe (indice de platôlénie très élevé). Ce fait constitue encore un exemple d'adaptation du muscle à ses exigences fonctionnelles, adaptation réalisée, d'une part, par l'allongement de sa substance contractile aux dépens du tissu osseux, et, d'autre part, par l'augmentation de sa surface d'insertion.

En outre, chez l'Homme, l'insertion cubitale de l'anconé, d'une étendue très variable, influe aussi sur les valeurs de l'indice de platôlénie. Ce muscle dont l'action est assez puissante produit l'extension de l'avant-bras. Il peut être considéré comme un élément du triceps brachial. Il joue un rôle très important dans les mouvements d'inclinaison latérale du cubitus, de dedans en dehors, inclinaison qui est très utile pour les mouvements de pronation et de supination. L'importance que ce muscle acquiert chez l'Homme est tout à fait en rapport avec l'attitude de l'avant-bras, très fréquemment étendu sur le bras.

De plus, l'anconé, par le mouvement de latéralité en dehors qu'il imprime au cubitus est en étroite dépendance avec l'angle *huméro-cubital*, ou angle externe du coude, mesuré par MALL, FISCHER et NAGEL.

Lorsque l'inclinaison radiale (angle huméro-cubital) de l'avant-bras est accentuée comme elle l'est chez beaucoup de femmes par exemple, l'anconé a une surface d'insertion cubitale plus réduite. Au contraire, lorsque l'angle huméro-cubital est presque nul, l'anconé augmente sa surface d'insertion et parfois arrive même à y produire une excavation. Dans le premier cas, le muscle n'exige pas une adaptation complémentaire puisque l'inclinaison permanente du cubitus sur l'humérus supplée, du moins en partie, au mouvement de latéralité produit dans la rotation de l'avant-bras.

Les variations de l'angle du col radial pourraient s'expliquer si l'on tient compte à la fois du mode d'insertion et du mode d'action du biceps brachial. On observe une relation étroite, d'une part, entre la position de la tubérosité bicipitale et son degré de développement et d'autre part l'inclinaison du col radial. En effet, une tubérosité bicipitale prononcée, surplombant le bord interne (interosseux) du radius va presque toujours de pair avec un col radial très incliné sur la diaphyse. Au contraire, une tubérosité bicipitale située sensiblement sur le même plan que celui de la face antérieure du radius est d'abord moins développée comme volume ; ensuite elle coexiste habituellement avec un col radial moins incliné sur la diaphyse.

L'explication de ces corrélations paraît résider principalement dans le mode d'action du biceps qui est un fléchisseur en même temps qu'un supinateur de l'avant-bras. Toutes les fois que la flexion de l'avant-bras s'exécute avec force, le biceps ne remplit son rôle effectif de fléchisseur qu'après avoir au préalable déterminé la supination du radius. Au début du mouvement de flexion, lorsque le muscle est parallèle à l'axe du col radial, sa composante longitudinale très grande est employée dans la coaptation des surfaces articulaires. C'est donc au début du mouvement, lorsque la force du biceps est utilisée principalement pour déterminer la supination du radius et pour appliquer la cupule radiale contre le condyle huméral, qu'une traction sur la diaphyse peut se produire et que la déviation du col s'établit. C'est ainsi que chez tous les Primates où l'action supinatrice du biceps s'accompagne de mouvements de force il existe un angle du col radial très prononcé.

Quant à l'*incurvation de la diaphyse radiale*, elle paraît être provoquée en partie par le mode d'action du rond pronateur. La direction diagonale de ce muscle permet de le considérer comme la résultante de deux forces : l'une qui agirait dans le sens longitudinal du radius vers l'articulation du coude, et l'autre perpendiculaire à celle-ci qui provoquerait la rotation de ce même os.

La traction du rond pronateur sur la diaphyse ne paraît intervenir que lorsque son action pronatrice est annihilée par la contraction synergique d'un antagoniste, par exemple le biceps. Dans ce cas le rond pronateur devient fléchisseur. Ainsi des mouvements très forts de supination de l'avant-bras sont nécessaires pour que le rond pronateur puisse déterminer une incurvation appréciable de la diaphyse radiale.

Il faut ajouter que le maximum de courbure du radius coïncide précisément avec le niveau d'insertion du rond pronateur. Chez les Maki en effet le rond pronateur s'insère très bas sur le radius et c'est à ce niveau-là que se trouve placé le maximum d'incurvation. Chez le Gibbon au contraire ce maximum remonte avec l'insertion du rond pronateur jusqu'au tiers supérieur du radius.

Cette correspondance entre l'insertion du rond pronateur et son effet morphologique peut être surtout suivie chez l'Homme.

Les fortes incurvations du radius que possèdent le Gorille, le Chimpanzé ainsi que beaucoup de singes arboricoles s'expliqueraient aussi par la masse considérable des fléchisseurs des doigts qui exercent, pendant leur contraction, une compression telle que les deux os de l'avant-bras tendent à s'écarter l'un de l'autre. De plus, la réaction du sol se produisant de bas en haut et s'appli-

quant principalement à l'articulation du poignet, doit avoir son rôle dans l'incurvation du radius chez les singes marcheurs terrestres et chez les grands Anthro-poïdes qui utilisent souvent la marche quadrupède.

III. — LES SURFACES ARTICULAIRES ET LEUR MODE DE FORMATION

Il y a une relation étroite entre la forme des surfaces articulaires et leur mode de mouvement. Cette relation peut nous renseigner et nous guider dans la recherche des facteurs qui produisent la forme de ces surfaces ; mais elle ne peut représenter une relation de cause à effet.

Tous les auteurs qui, à la suite de L. FICK (103), ont soutenu que les surfaces articulaires sont façonnées, au sens propre du mot, par le mouvement, n'ont pas tenu compte du mode de développement de ces surfaces. R. FICK (104) essaye d'étayer son hypothèse sur l'expérience suivante : il se munit de deux tiges en plâtre, les place l'une sur l'autre et, à l'aide d'un dispositif spécial composé de fils et de poulies, leur imprime un mouvement de balancement qui détermine l'usure des extrémités en contact.

Dans cette expérience la véritable conformation des surfaces articulaires et le mode d'accroissement des épiphyses sont complètement laissés de côté.

Nous ne voyons, en réalité, à aucun moment de la formation des os l'usure mécanique qui devrait se produire dans le polissage des surfaces articulaires. Bien au contraire, l'apparition successive des points d'ossification à des époques différentes du développement repré-

sente une *addition* de tissu osseux qui se poursuit en même temps que s'établit la forme de la surface articulaire.

Cette forme apparaît, d'ailleurs, de très bonne heure, ce qui explique comment des individus très jeunes possèdent des mouvements assez semblables aux individus adultes. Entre la forme adulte et la forme jeune il n'y a sous le rapport des surfaces articulaires et des mouvements qu'une différence de degré.

Des expériences de R. FICK il ressortirait encore que l'extrémité du levier sur lequel les muscles artificiels ont une insertion rapprochée de la surface articulaire devient concave, et l'extrémité du levier sur lequel ces mêmes muscles ont une insertion éloignée devient convexe.

L'anatomie comparée pourrait trouver des exceptions à cette règle; d'ailleurs, si même cela était vrai, cela n'expliquerait nullement la formation des surfaces articulaires par un polissage mécanique.

Dans la description des surfaces articulaires des os du membre supérieur des Primates, j'ai insisté sur un point essentiel de la morphologie articulaire : l'emplacement de la dépression maxima de la surface excavée.

L'existence dans l'axe articulaire du coude d'une trochlée unique ou d'une double trochlée, avec une gorge directrice à situation différente suivant les espèces; les variations de la profondeur maxima de la surface carpienne du radius, ainsi que la présence d'une apophyse styloïde du cubitus qui prend part à l'articulation chez tous les Primates marcheurs, nous amènent à une autre interprétation de la formation des surfaces articulaires et qui paraît être plus en conformité avec les faits.

Les articulations sont le lieu de rencontre des pres-

sions déterminées par les muscles. Lorsqu'un muscle se contracte il ne fait pas seulement tourner les rayons osseux, il les comprime. C'est donc la pression et le déplacement qui constituent les facteurs essentiels déterminant la forme des surfaces articulaires.

Depuis longtemps J. GUÉRIN (110) a montré que la pression contribuait à la formation d'une nouvelle surface articulaire dans les anciennes luxations non réduites, et qu'au contraire le manque de pression amène la disparition de l'ancienne cavité articulaire déshabitée.

Le rôle de la pression comme facteur morphogénique dans l'établissement des surfaces articulaires peut être prouvé par les faits suivants :

1° L'élargissement et le renflement de la partie articulaire de l'os par rapport à la région avoisinante. Exemple : la tête humérale, la surface condylo-trochléenne du coude, la cupule radiale et la grande cavité sigmoïde, la surface articulaire radiale inférieure.

2° A chaque renflement correspond une surface excavée qui est elle-même élargie.

3° L'architecture du tissu spongieux dont les travées osseuses sont disposées de façon à offrir le plus de résistance possible à la pression.

L'élargissement des parties articulaires en contact démontre que la pression constitue une entrave pour la croissance des os en longueur. D'autre part les exigences mécaniques des muscles paraissent favoriser la croissance des os suivant la direction des plus fortes composantes. Il faut rapprocher cette supposition du fait que tout renflement articulaire constitue un bras de levier pour un, ou pour plusieurs muscles groupés ensemble. Or, nous savons que les bras de levier osseux s'allongent ou

se raccourcissent selon l'importance des muscles. La conformation de la surface articulaire dans tous ses détails et dans toutes ses variations pourrait donc répondre aux nécessités adaptatives des forces, c'est-à-dire des muscles, qui les déterminent.

Par quel mécanisme s'établit la forme arrondie des surfaces articulaires ? Il faut répéter ici que le rayon de courbure de ces surfaces est très inégal et que partout où il y a une tête articulaire ou condyle, on observe un agrandissement de son rayon de courbure dans des sens différents et qui s'expliquent facilement.

Dans le cas de la tête humérale de l'Homme, les muscles qui déterminent sa sphéricité, plus ou moins parfaite, sont : le deltoïde et les muscles rotateurs, en dedans et en dehors, de l'épaule. L'agrandissement du rayon de courbure de bas en haut et dans le sens longitudinal de la tête humérale me paraît être dû principalement au mode d'action du deltoïde.

Ce muscle, ayant constamment ses fibres parallèles à l'axe de l'humérus doit déployer un effort considérable au début et pendant le mouvement d'abduction du bras. Lorsque le mouvement est au début, le deltoïde actionne un levier de deuxième genre (interrésistant) et par conséquent son effort est moins pénible que lorsque le mouvement est en son plein ; presque toute la force du muscle étant alors employée dans le sens longitudinal de l'humérus pour comprimer davantage la tête humérale contre la cavité glénoïde. Cette pression sur la surface glénoïde serait donc augmentée pendant l'excursion de la tête, de bas en haut.

L'effort de pression des rotateurs en dedans et en dehors étant moins grand que celui du deltoïde, la

tête humérale a une courbure plus aplatie dans le sens transversal.

La tête humérale des Anthropoïdes, au contraire, possède une courbure très prononcée dans le sens transversal, en raison des mouvements de rotation du bras sur l'épaule qui sont plus puissants et plus amples que ceux de l'Homme.

Enfin, la partie presque plate que nous avons distinguée dans la tête humérale des singes quadrupèdes terrestres est entièrement déterminée par la pression verticale de haut en bas du train antérieur de l'animal qui neutralise l'effet de la pression de bas en haut. Les muscles abducteurs du bras chez les Lémuriens et les singes d'Amérique, exercent en raison du faible poids de ces animaux une pression de haut en bas minime et la courbure longitudinale de leur tête humérale est entièrement à rayons égaux.

Pour appliquer les mêmes raisonnements aux surfaces articulaires *du coude*, il faut les considérer dans leur situation normale et dans leur ensemble. On doit par conséquent, envisager les surfaces articulaires supérieures du radius et du cubitus comme une surface unique qui s'emboîte avec celle de la trochlée humérale.

Dans ce cas, on comprend facilement les différents modes d'excavation de la trochlée, de même que l'existence dans la cupule radiale d'une partie marginale surélevée et d'une autre partie taillée en biseau.

Les schémas ci-dessous (fig. 68 *a-c*) sont destinés à rappeler les variations des surfaces articulaires du coude chez les principaux types d'adaptation des Primates, et peuvent servir aussi de point de départ pour les considérations qui vont suivre.

L'articulation du coude est le lieu de rencontre des pressions de haut en bas transmises par l'humérus et des pressions de bas en haut transmises par le radius et le cubitus. Les forces qui déterminent en premier lieu ces pressions sont les fléchisseurs et les extenseurs du coude. Chez l'Homme lorsque le membre antérieur est en exten-



Fig. 68, *a-c*. — L'emboîtement des surfaces articulaires du coude.
a, chez un *Lemur varius*; *b*, chez un *Macaque vulgaire*, et *c* chez un *Chimpanzé*.

sion et pend le long du corps et chez les Singes lorsqu'il est à l'appui, les tendons du biceps et du brachial antérieur sont rapprochés l'un de l'autre et de la ligne médiane de l'avant-bras. Mais dès que celui-ci se fléchit le tendon du biceps qui est en partie enroulé sur le radius, se déroule et provoque en même temps la supination et la flexion de l'avant-bras. Le travail mécanique du biceps est faible lorsque le bras est au repos et la main plus ou moins en pronation. Il croît et arrive à son maximum lorsque la main est en supination et que la flexion atteint environ 90°. Le brachial antérieur est uniquement fléchisseur, il est aussi le muscle le plus important dans la flexion pure; le biceps ne le dépasse, à ce point de vue, que dans la supination.

Si, dans la série des Primates nous essayons d'examiner les relations que peuvent avoir suivant leur répartition les gorges directrices de l'axe articulaire du coude avec

le mode de mouvement des deux fléchisseurs de l'avant-bras, nous constatons qu'il existe la plus complète concordance. Une gorge directrice, profonde, placée dans la région condylienne, comme cela existe chez les Lémuriens, implique des mouvements très puissants provoqués par le biceps en flexion prononcée. Ceci est en accord avec l'attitude habituelle de leur avant-bras.

Au contraire, une gorge profonde placée dans la région trochléenne comme cela existe chez les Singes marcheurs terrestres, implique de fortes pressions produites par le brachial antérieur, ainsi qu'un mouvement habituel dans le plan de flexion et d'extension de l'avant-bras.

La double trochlée des Anthropoïdes, très allongée dans le sens transversal, est tout à fait en accord avec les conditions de mouvement du membre antérieur de ce groupe des Primates. Leur marche quadrupède spéciale s'exécute avec les membres antérieurs très peu fléchis, les doigts bien fermés et l'avant-bras en légère supination. De même, leurs mouvements de préhension des branches se font l'avant-bras étant en supination. Dans cette attitude du membre, le biceps et le brachial antérieur ont de fortes composantes longitudinales. La pression exercée dans le mouvement supinateur du biceps est indiquée par la profondeur de la cupule radiale et par la partie de son bord, taillée en biseau sur une longueur d'arc énorme (300° environ). La forte pression du brachial antérieur est indiquée par la crête médiane, très accentuée, de la grande cavité sigmoïde. Les cupules radiales peu profondes des Gibbons et quelquefois de l'Orang indiquent que la suspension arboricole et, par conséquent, la traction, annihilent, au moins en partie, l'effet de la composante de pression des muscles.

Chez l'Homme, les deux types extrêmes de l'axe articulaire du coude, à double trochlée et à trochlée unique, peuvent être interprétés assez facilement si nous tenons compte des considérations précédentes. J'ai déjà mentionné que la première disposition qui se rapproche de celle des Anthropoïdes, sans jamais la réaliser parfaitement, se rencontre chez les sujets robustes, qui exécutent des mouvements de force avec leurs bras. Chez ceux-ci, même à l'état de repos, l'avant-bras est en légère supination et un peu fléchi sur le bras. L'ouverture de l'angle du coude au repos chez les sujets fortement musclés peut atteindre un angle de 150° environ. Chez les sujets maigres, chez les femmes et quelquefois chez les Nègres on rencontre la seconde disposition à trochlée unique, parce que leur avant-bras est plus étendu sur le bras et il est en même temps en légère pronation. Dans ces conditions la tonicité seule du brachial antérieur est suffisante pour produire la gorge profonde et unique de la trochlée.

Il faut attribuer à ces mêmes influences les variations dans l'élargissement des surfaces articulaires du coude.

L'angle *huméro-cubital* mesuré sur le squelette par FISCHER (11) et sur le vivant par MALL (27) et NAGEL (34) dépend en premier lieu de la conformation des surfaces articulaires du coude et de la direction de l'axe condylo-trochléen.

Cet angle est très fréquent et très accentué chez la femme. Il peut exister aussi chez l'Homme et chez les grands Anthropoïdes. Il varie de $150-180^{\circ}$ et exprime l'inclinaison latérale externe de l'avant-bras sur le bras. Pour l'explication de ce caractère il ne suffit pas simplement d'envisager la position plus ou moins oblique de l'axe articulaire du coude sur l'axe huméral, mais tenir compte d'autres

facteurs et avant tout des mouvements de rotation des os de l'avant-bras et de leur attitude habituelle.

Les surfaces articulaires qui composent l'*articulation du poignet* se laissent aussi interpréter comme les précédentes. Les muscles qui y déterminent la plus grande pression sont ceux de la face antérieure, ou de flexion, de l'avant-bras.

La pression que l'effort de la main exerce sur les os de l'avant-bras est transmise au coude par des voies différentes selon le type d'adaptation envisagé.

La surface articulaire antibrachiale du poignet, considérée dans son ensemble ainsi que la forme de l'espace interosseux de l'avant-bras, peuvent nous éclairer à ce point de vue.

Dans le cas des singes marcheurs, arboricoles et terrestres, la pression de bas en haut (la réaction du sol, ou du support), se transmet par les deux os de l'avant-bras à la fois. La pression de haut en bas représentée par le poids du train antérieur de l'animal se transmet surtout suivant le cubitus qui s'articule avec le carpe. Ce mode de répartition des pressions peut expliquer l'élargissement dans le sens transversal de l'épiphyse inférieure radiale chez tous les singes marcheurs, de même que le volume considérable de l'apophyse styloïde du cubitus.

Si la diaphyse cubitale reste approximativement rectiligne chez la plupart des Lémuriens et chez les Hapalidés, si elle est incurvée avec concavité en arrière chez les singes cynomorphes, cela tient au fait que chez les premiers le poids du corps est plus faible et que la flexion de l'avant-bras est plus prononcée. Le cubitus est, comme nous l'avons déjà indiqué, moins comprimé à ses deux extrémités dans les espèces exclusivement arboricoles.

Si nous passons aux Anthropoïdes et à l'Homme, la libération du membre antérieur, plus ou moins complète, du sol, en même temps que l'ouverture plus accentuée de l'angle du coude, amènent sinon la disparition, du moins une considérable diminution de la pression de haut en

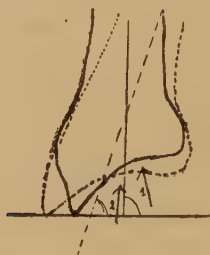


Fig. 69. — Superposition de deux schémas de l'épiphyse radiale inférieure de l'Homme.

Le trait plein indique l'extrémité inférieure d'un radius d'Européen, le trait pointillé la même extrémité chez un Nègre. Les flèches indiquent la direction normale de la main chez l'Européen (1) et chez le Nègre (2). La moitié inférieure de la diaphyse radiale conserve dans les deux cas sa position naturelle, l'avant-bras étant en extension sur le bras.

bas transmise par le cubitus. La première conséquence de ce fait est l'absence d'une articulation cubito-carpienne et la diminution de volume de l'apophyse styloïde du cubitus. La pression de bas en haut, due aux efforts très puissants des muscles fléchisseurs des doigts et du poignet, se transmet *uniquement par le radius*.

En outre, la pression déterminée par la main, dans son attitude la plus habituelle, très variable chez l'Homme, joue un grand rôle au point de vue morphogénique (fig. 69).

De plus, les amples mouvements de circumduction de la main et l'opposabilité du pouce, en particulier chez l'Homme, déterminent une augmentation du diamètre antéro-postérieur de l'épiphyse radiale inférieure et une augmentation de volume pour l'apophyse styloïde radiale.

L'élargissement de l'épiphyse est en rapport direct avec la présence de gouttières radiales très profondes et avec une surface articulaire radiale très profonde aussi.

Ces faits sont toujours corrélatifs et, surtout chez l'Homme, la seule inspection d'une épiphyse inférieure du radius montre avec netteté l'importance que la main a acquise en tant qu'organe perfectionné de préhension.

IV. — LE RELIEF OSSEUX ET L'AMÉLIORATION DES CONDITIONS DU TRAVAIL MUSCULAIRE

Il nous faut rappeler ici les principales sortes de relief que nous avons distinguées dans la première partie, à savoir : les coulisses tendineuses, les rugosités et les tubérosités correspondant aux grands muscles, les excavations et les crêtes.

En ce qui concerne les coulisses tendineuses, elles paraissent bien plutôt résulter de la pression qu'exercent les tendons au moment des contractions musculaires, cette pression constituant une entrave pour la croissance de l'os au lieu même de leur passage, que d'un véritable frottement à la suite duquel une rigole se produirait.

« On semble considérer généralement, dit R. ANTHONY¹, que l'action des organes sur les os est souvent assimilable à une sorte d'usure résultant d'un frottement répété; les tendons des radiaux par exemple useraient l'extrémité distale du radius comme l'anévrysme aortique use quelquefois le sternum ou d'une façon plus générale comme la corde qui retient un bateau au rivage use la borne autour de laquelle on l'enroule pour l'attacher. »

1. R. ANTHONY. Le déterminisme et l'adaptation morphologique, etc. *Archives de morphologie gén. et expér.* Fasc. 14, page 333. Paris, 1923.

En réalité les coulisses tendineuses et tous les faits de cet ordre peuvent s'expliquer, ainsi que le fait remarquer ce même auteur, en disant que « l'organe appuyant sur le plan squelettique constitue un obstacle à la formation du tissu osseux, lequel se forme librement au contraire à la périphérie ». La coulisse bicipitale est très profonde chez les singes marcheurs terrestres en raison du rôle important que le biceps joue dans la synergie musculaire qui assure la station.

Ce muscle devient sinon un véritable extenseur angulaire de l'épaule au moins un modérateur du triceps. De cette manière il est toujours en état de tension et l'action de son tendon est plus puissante.

De même, chez les Anthroïdes dans le grimper, lorsque le poids du corps est soulevé par les fléchisseurs du coude et par le deltoïde, l'angle scapulo-huméral tend à se fermer, le bord axillaire de l'omoplate se rapprochant de l'humérus, du fait surtout des rotateurs internes (grand dorsal, grand rond) et du long triceps. La fermeture de l'angle de l'épaule détermine un étirement du tendon du long biceps et par conséquent une coulisse plus profonde.

Chez les Lémuriens, l'angle scapulo-huméral est très ouvert et la pression du tendon bicipital au niveau des tubérosités est très faible. Par contre, l'angle du coude très fermé fait que le tendon du biceps détermine une coulisse dont la profondeur est plus grande précisément au niveau où s'opère la déviation humérale supérieure. Chez l'Homme, la flexion répétée des fléchisseurs de l'avant-bras agit aussi sur l'omoplate; seulement chez lui le biceps est souvent relâché, du fait que le coude, ou le membre tout entier peuvent reposer fréquemment sur un support quelconque.

Quant aux gouttières radiales, celles ci peuvent être attribuées à la pression déterminée par les tendons extenseurs qui y passent. L'action de ces tendons est rendue appréciable seulement lorsque les contractions des fléchisseurs des doigts sont vigoureuses et fréquentes. Ceci est confirmé par l'importance que ces gouttières prennent chez l'Homme et surtout chez les Blancs.

Les crêtes rugueuses du deltoïde ainsi que les deux tubérosités de l'épiphyse supérieure humérale pourraient s'expliquer si on les envisageait comme exprimant l'augmentation d'un bras de levier interrésistant. Cette espèce de levier ne favorise pas la force musculaire et, dans le cas du deltoïde comme nous l'avons déjà vu, le muscle travaille dans des conditions difficiles au début et au cours du mouvement.

L'obliquité, d'avant en arrière, de l'humérus chez les singes quadrupèdes rendant les conditions de travail du deltoïde encore plus difficiles, l'augmentation du bras de levier paraît s'imposer pour compenser la perte en force. Cette augmentation qui a lieu au niveau de l'insertion du muscle est réalisée par les fortes rugosités qu'on y observe. Une section longitudinale, faite dans la diaphyse humérale d'un Macaque (fig. 70), le démontre suffisamment.

Chez l'Homme et chez les Anthropoïdes, les branches du V deltoïdien sont, sans doute, moins accusées que celles des singes cynomorphes ; par contre, on observe un renflement externe et antérieur de la grosse tubérosité qui donne à l'épiphyse supérieure de l'humérus un aspect globuleux. Ce renflement est plus accentué chez le Gibbon que chez les autres Anthropoïdes. Chez l'Homme, ce même renflement est plus fréquent et plus accusé sur

les humérus minces et à diaphyse rectiligne que sur les humérus robustes et à diaphyse légèrement incurvée (fig. 71 *a* et *b*). Cette constatation fait penser que nous avons là un mode d'amélioration des conditions du tra-

vail musculaire, une augmentation du bras de levier pour les muscles à section plus réduite et dont l'action se localise surtout dans le voisinage des articulations.

C'est pour la même raison qu'une tubérosité se forme sur le



Fig. 70. — Section longitudinale dans l'humérus d'un *Macacus sinensis*. On voit le renforcement du tissu compact au niveau d'insertion du deltoïde (*a*).



Fig. 71, *a* et *b*. — Humérus d'un Européen (*a*) et d'un ancien Patagon (*b*). *rr'* = renflement antérieur de la grosse tubérosité.

radius, au lieu d'insertion du tendon du biceps (tubérosité bicipitale).

Ce muscle, comme on le sait, provoque d'abord la supination, puis la flexion de l'avant-bras. Il a selon le cas deux bras de levier, l'un de *flexion* représenté par la

longueur du col radial et l'autre de *rotation*, représenté par le rayon de la diaphyse radiale au point d'insertion du muscle. La présence d'une tubérosité bicipitale démontre précisément l'importance de l'action supinatrice du biceps. Cela paraît d'autant plus évident que chez l'Homme toutes les fois que l'insertion bicipitale se déplace vers la face antérieure (palmaire) du radius, l'effort de supination étant moins grand, la tubérosité bicipitale est non seulement moins prononcée, mais elle présente une sensible excavation.

Les tubérosités, les crêtes rugueuses et les renflements des tubérosités pourraient être groupés dans la catégorie du relief *positif*, formé par l'augmentation du tissu osseux. Au contraire les excavations et les crêtes, réalisées à la suite d'une excavation, représenteraient un relief *négatif*, obtenu par diminution du tissu osseux.

La crête puissante à excavation antérieure du long-supinateur, ainsi que les excavations du radius et du cubitus paraissent être encore déterminées par les conditions du travail musculaire. Il faut remarquer d'abord que cette forme de relief est localisée uniquement dans les régions d'insertion charnue des muscles et qu'elle représente une augmentation de cette surface d'insertion.

Si les conditions organiques du muscle ne correspondent plus aux exigences de l'effort mécanique réclamé, le muscle, par un mécanisme intime encore inconnu, allonge sa substance contractile aux dépens du tissu osseux. Ainsi le cubitus et le radius de l'Homme et surtout de l'Européen possèdent un relief très prononcé tout à fait en accord avec la force et la multiplicité des mouvements que la main exécute.

Dans toute la série des Primates, la comparaison des

espèces entre elles, ainsi que la comparaison de leurs variations individuelles, montrent que la robusticité des os va de pair avec des excavations profondes.

D'autre part, dans la première partie du travail, il a été indiqué que partout où il y a allongement des segments osseux, il y a aussi diminution et même manque total de relief. Les muscles de grande amplitude, mais peu vigoureux qui possèdent une section réduite, ne paraissent donc pas exiger une disposition adaptative complémentaire.

Par contre, les muscles puissants, mais de petite amplitude et à large section transversale, nécessitent cette disposition adaptative, manifestée sur les os correspondants par des excavations très prononcées.

V. — L'INTERPRÉTATION

DE LA FORME ET DE L'ALLONGEMENT DE L'OLÉCRANE L'ALLONGEMENT DU COL RADIAL

Dans le mémoire que E. FISCHER a publié sur les variations du radius et du cubitus chez les Primates, il a établi un seul indice de l'olécrâne pour toutes les espèces analysées. Cet indice devrait marquer selon cet auteur toute une série de transitions entre les principaux groupes de l'ordre et de plus, indiquer un degré de parenté entre certains Anthroïdes et certaines races humaines primitives.

Dans la première partie de ce travail on a vu qu'il est impossible d'établir un indice uniforme pour l'olécrâne surmonté d'une apophyse tel que le possèdent les singes marcheurs, arboricoles et terrestres, et pour l'olécrâne sans apophyse de l'Homme et des Anthroïdes.

Si FISCHER a rapproché ainsi deux phénomènes de signi-

fication morphogénique totalement différents, cela tient à ce qu'il ne s'est pas préoccupé d'expliquer au préalable le caractère qu'il envisageait.

Pour arriver à comprendre les différences de forme que présente l'olécrâne des Primates, il faut considérer l'attitude habituelle de leur membre antérieur et plus particulièrement celle de leur coude. Il faut, en d'autres termes, placer le cubitus dans sa position normale.

Ainsi que le font voir l'étude des surfaces articulaires et la considération de leur mode de vie, les singes uniquement arboricoles, grimpeurs et sauteurs, ont un coude fléchi à l'état de repos sous un angle de 90° environ. Cet angle augmente chez les singes marcheurs terrestres et peut s'élever jusqu'à 150° . Chez les Anthropoïdes et chez l'Homme, l'avant-bras se met à peu près dans le prolongement du bras, l'angle du coude pouvant varier de 150° à 180° .

Les quatre schémas figurés ci-dessous sont destinés à montrer ces dispositions.

Le triceps, dont la résultante est sensiblement parallèle à l'humérus, s'insère dans tous les cas sur le bord extrême et postérieur de l'olécrâne, formant avec son bras de levier un angle qui varie de 45° à 90° . Cet angle est de 45° environ chez les singes arboricoles et de 60° chez les singes marcheurs terrestres. Il s'ouvre jusqu'à 75° chez le Chimpanzé, chez le Gorille et souvent chez l'Orang et atteint 90° chez le Gibbon et chez l'Homme.

Par conséquent ce n'est que chez ces derniers que le triceps s'insère perpendiculairement sur l'olécrâne, c'est-à-dire, sur son bras de levier. Celui-ci est, d'ailleurs, tellement court, que le couple de forces formé par le triceps et le poids de l'avant-bras est très facile à équilibrer.

D'autre part, et c'est là une différence essentielle à établir, le triceps agit en levier du *deuxième genre* chez les singes marcheurs, arboricoles et terrestres, et en levier du *premier genre* chez les Anthropoïdes et chez l'Homme.

En effet, lorsque le membre antérieur est à *l'appui* chez

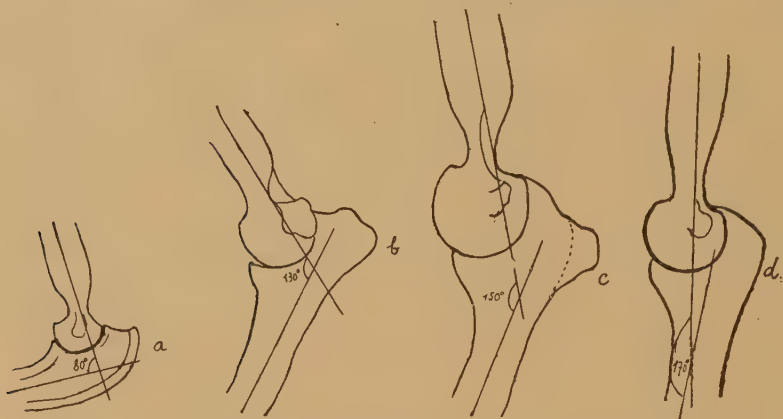


Fig. 72, a-d. — Le degré d'ouverture de l'angle habituel du coude chez les Primates.

a, chez un Lémurien; b, chez un Thériopithèque; c, chez un Chimpanzé; d, chez l'Homme.

un singe marcheur, la puissance est appliquée au sommet de l'olécrâne, la résistance représentée par le poids du train antérieur est appliquée à l'articulation huméro-cubitale et le point d'appui est *au sol*.

Chez l'Homme et souvent aussi chez les Anthropoïdes la puissance est encore appliquée au sommet de l'olécrâne, mais la résistance représentée seulement par le poids de l'avant-bras et celui de la main est appliquée au centre de gravité du poids total de ces deux segments, et le point d'appui est à *l'articulation huméro-cubitale*.

Au point de vue de l'utilisation du travail musculaire le levier du premier genre produit des *effets* dits *d'équilibre*, celui du deuxième genre, des *effets de force*.

Dans le premier cas, le bras de la puissance varie toujours proportionnellement au bras de la résistance. Celui-ci, presque nul dans l'extension complète du coude, augmente lorsque l'avant-bras se fléchit sur le bras et décroît à nouveau lorsque la flexion a dépassé 90° .

Dans le second cas, les effets de force produits par un levier du deuxième genre seront *d'autant plus marqués que le bras de la puissance sera plus grand* par rapport à celui de la résistance.

En effet le bras de levier du triceps, dans ce dernier cas, est augmenté par la présence d'une apophyse olécraniennne qui représente un allongement appréciable du bras de levier de la puissance.

Cette apophyse est une formation entièrement comparable au *calcanéum*, qui est réalisé lui aussi, au point de vue mécanique, dans un levier du deuxième genre.

C'est bien une confirmation de toutes les considérations théoriques précédentes que les indices de l'allongement de l'olécrâne nous ont donnée. Chez les singes marcheurs, où l'extension du coude est indispensable non seulement pour soulever le train antérieur, mais aussi dans la station debout pour empêcher la fermeture des angles, le triceps possède un long bras de levier, en rapport avec ses exigences mécaniques. Le rôle du triceps explique par conséquent la présence d'une apophyse olécraniennne chez les singes marcheurs comme chez tous les quadrupèdes en général. Chez les Anthropoïdes et chez l'Homme le membre antérieur ne servant plus à l'appui, ou n'y servant que d'une manière assez occasionnelle, le triceps ne doit faire équilibre, comme il a été déjà dit, qu'au poids de l'avant-bras et de la main. Dans ces conditions, non seulement il diminue relativement de volume, mais son

bras de levier se raccourcit considérablement. Ceci a en outre une grande utilité au point de vue de la vitesse.

Si le rôle du triceps peut expliquer l'allongement de l'olécrâne, la forme de celui-ci ne peut être interprétée qu'en tenant compte de l'attitude habituelle du coude (voir les schémas) et par conséquent de l'angle sous lequel s'insère le triceps, Ceci explique d'emblée la présence d'une



Fig. 73, *a* et *b*. — L'olécrâne vu d'en haut pour montrer l'allongement des deux diamètres : antéro-postérieur (*AP*) et transverse (*TT'*).

a. Chimpanzé; *b*. Homme.

apophyse olécranienne surmontant directement la cavité sigmoïde chez les singes arboricoles et la déviation en arrière de cette apophyse par rapport à cette même cavité, chez les singes marcheurs terrestres. Ceci explique encore pourquoi chez l'Homme et chez les Anthropoïdes il n'y a pas d'apophyse olécranienne. Chez les Chimpanzés et chez les Gorilles, l'olécrâne s'allonge d'avant en arrière (fig. 73 *a*), tandis que chez l'Orang, chez le Gibbon et chez l'Homme il augmente de dimensions transversalement (fig. 73 *b*). Cette modification de l'olécrâne est encore due au degré d'ouverture de l'angle du coude. Chez le Chimpanzé et le Gorille le bras est plus fléchi qu'il ne l'est chez le Gibbon, l'Orang et l'Homme.

Ainsi deux facteurs principaux et dont l'action se complète, paraissent présider à la réduction de l'apophyse

olécranienne chez les Primates : l'extension fréquente et prononcée du coude, et la libération du membre de son contact avec le sol.

La direction de l'apophyse olécranienne des singes marcheurs, ou celle du diamètre antéro-postérieur de l'olécrâne des Anthropoïdes et de l'Homme constituent un caractère important au point de vue morphogénique. Cette direction est toujours celle de la position la plus fréquente du radius par rapport au cubitus. Elle est située dans le plan sagittal lorsque la demi-supination domine, elle peut s'incliner en dedans ou en dehors selon que la supination ou la pronation est prédominante. Ce fait qui explique en même temps l'angle de déviation des deux parties de la cavité sigmoïde, prouverait que le bras de levier du triceps tend à se situer dans le même plan que celui de la masse à déplacer, c'est-à-dire de l'avant-bras.

Le levier qui procède à la flexion du coude par le *biceps brachial* est un levier du *troisième genre* où le bras de la puissance est représenté par le col radial. Si le levier du premier genre, ou celui du triceps, peut être considéré comme le *levier de la station* pour les singes quadrupèdes et de la *suspension de l'avant-bras* pour les Primates plus ou moins bipèdes, celui du biceps, ou du troisième genre, est le *levier du mouvement*.

Dans ce cas il y a avantage pour la vitesse à ce que le bras de la puissance soit court et il y a avantage pour la force à ce que ce même bras soit long. On perd en force dans les leviers du troisième genre, ou interpuissants, précisément parce que les longueurs des bras de la puissance et de la résistance sont renversées. Le levier déplace la résistance avec une amplitude d'autant plus grande que le bras de la puissance est plus court.

La figure 74 est destinée à préciser ces considérations.

Si les muscles F et F' doivent subir, par exemple, un même raccourcissement ($mn = m'n'$), le déplacement produit par F est beaucoup plus grand (AA_2) que celui produit par F' (AA_1).

Si nous rapprochons ces constatations mécaniques des résultats obtenus des indices d'allongement du col radial,

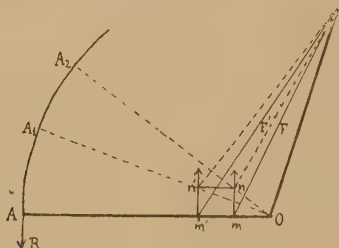


Fig. 74. — Figure destinée à montrer le rapport entre les bras du levier du biceps brachial et l'amplitude des mouvements.

on voit que la correspondance est rigoureuse. C'est chez le Gibbon, chez l'Atèle et chez l'Orang où les mouvements des bras sont de grande amplitude ou de vitesse que l'on observe un col radial relativement court. Inversement, c'est chez les Gorilles, chez les Chimpanzés et chez les singes arboricoles qui exécutent des mouvements de force, de même que chez les Lémuriens à mouvements lents, que l'on observe le col radial relativement le plus long.

VI. — INTERPRÉTATION DE LA TORSION DE L'HUMÉRUS

Il faut préciser dès le commencement qu'une torsion réelle de la diaphyse humérale, dans le vrai sens mécanique du mot, est insoutenable.

Toutes les recherches sur l'architecture osseuse, des

plus anciennes jusqu'aux plus récentes, n'ont jamais abouti à mettre en évidence des fibres tordues dans la tige humérale.

Une torsion de l'os du bras est de plus incompatible avec une articulation de l'épaule en énarthrose permettant de très amples mouvements de circumduction.

En mécanique, la torsion est un mode de déformation qui a lieu lorsqu'un effort tangentiel, provoqué par un couple de forces, agit sur un cylindre dont l'axe est fixe et fait glisser ses couches de matières les unes sur les autres. On peut démontrer que l'angle de torsion est proportionnel au *moment tordant* et à la longueur du cylindre, mais qu'il est inversement proportionnel à la quatrième puissance du *rayon* et à un *coefficient de rigidité* (module de torsion).

LAMBERT (22) essaya d'établir une relation entre les valeurs de l'angle de torsion d'une part, et la longueur et l'épaisseur de l'humérus de l'Homme, d'autre part. Il conclut que l'angle de torsion diminue quand l'épaisseur augmente. Outre son assertion erronée que « l'augmentation de longueur s'accompagne généralement d'une augmentation d'épaisseur », l'argument de l'épaisseur, lui-même, utilisé en faveur d'une torsion mécanique, est sans valeur. En effet, si l'on tient compte de ce que, parmi les Anthropoïdes, les Gibbons et les Orangs possèdent des humérus peu robustes avec des angles de torsion inférieurs à ceux du Gorille et du Chimpanzé et que, chez l'Homme, les Nègres ont des humérus très graciles avec des angles de torsion beaucoup plus réduits que ceux des Européens, l'assimilation avec la torsion mécanique de LAMBERT et de ceux qui pensent comme lui, ne peut pas subsister.

La considération de la longueur de l'humérus, celle de son épaisseur, celle des forces agissantes ne donnent pas et ne peuvent pas donner des résultats concluants en faveur de l'existence d'une torsion réelle de l'humérus.

La simple considération des modes de mouvements du membre antérieur et surtout de la rotation du bras sur l'épaule s'oppose aussi à toute hypothèse d'une torsion mécanique de l'humérus.

L'angle dit de torsion n'exprime, en fait, qu'un changement opéré, pendant la vie embryonnaire et post-embryonnaire, dans l'orientation des surfaces articulaires; celles-ci se forment et se développent là où les extrémités osseuses sont en contact; elles changent par conséquent de position quand les os changent de situation réciproque.

Le déplacement de la tête humérale est imposé par les changements profonds d'ordre topographique qui ont lieu pendant la vie fœtale et par le mode de formation des surfaces articulaires.

Le volume et la forme de l'épiphyse supérieure de l'humérus, ainsi que la sphéricité de la tête humérale sont rigoureusement déterminés par les conditions du travail mécanique du deltoïde et des rotateurs en dehors et en dedans du bras. Ainsi, chez l'Homme, lorsque la direction de l'axe articulaire du coude reste invariable il y a une relation étroite entre le lieu d'insertion du deltoïde sur la diaphyse et l'orientation de la tête humérale, orientation qui influe sur l'angle de torsion. Sur les humérus qui possèdent un angle de torsion élevé (170° par exemple) les rugosités du V deltoïdien sont rapprochées du bord externe de la diaphyse. Au contraire, sur les humérus à angle de torsion réduit (150° par exemple), ces mêmes rugosités

se placent plus près du bord antérieur de la diaphyse humérale. De plus, on peut remarquer que dans le premier cas la coulisse bicipitale est plus sinueuse qu'elle ne l'est dans le second.

La vérification de cette relation entre les insertions

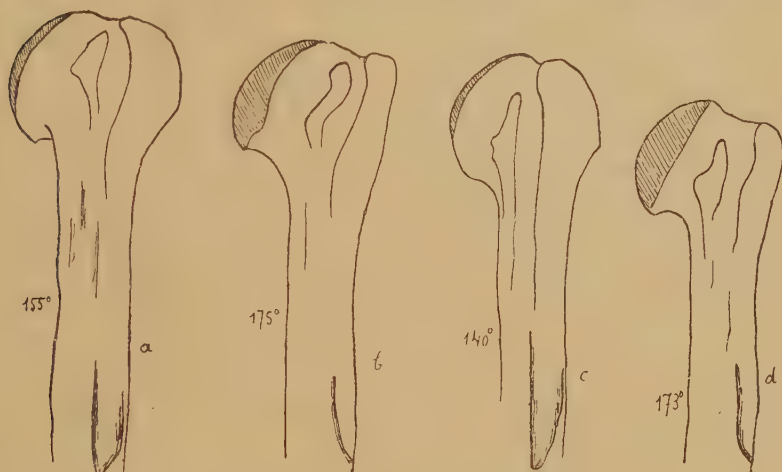


Fig. 75, *a-d*. — Schémas destinés à montrer le rapport entre l'orientation de la tête humérale et le lieu d'insertion du deltoïde sur l'humérus. L'extrémité inférieure de l'humérus a dans tous les cas la même position. La valeur de l'angle de torsion figure à gauche de chaque os.

≡ *a* et *b*. Européen; *c* et *d*. Japonais.

du deltoïde et l'angle de torsion ne peut être suivie que dans les séries d'humérus humains où cet angle atteint des valeurs élevées. Les dessins schématiques de la figure 75 (*a-d*) sont destinés à illustrer cette constatation.

Le rapport qui existe entre les insertions des rotateurs en dedans et en dehors du bras et l'orientation de la tête humérale est plus difficile à établir.

La torsion, conçue comme un changement dans l'orientation des surfaces articulaires, peut être appliquée à tous les os longs. Le radius et le cubitus ont, eux aussi, leurs

surfaces articulaires, supérieures et inférieures, déviées les unes par rapport aux autres et ce n'est que le degré moindre du phénomène qui le fait passer inaperçu, alors que l'angle de déviation des surfaces articulaires humérales, plus prononcé, a provoqué de très nombreuses discussions. C'est surtout le trajet sinueux de la gouttière du nerf radial sur la diaphyse qui a fait penser à une torsion vraie de l'humérus.

Cependant la gouttière radiale est très peu marquée chez les Anthropoïdes, alors qu'elle est plus profonde chez certains mammifères quadrupèdes. Chez l'Homme il n'y a aucune relation entre la profondeur de la gouttière radiale et l'angle de torsion. SABATIER a fait remarquer très justement, que seul le nerf radial est enroulé en spire autour du bras et il s'est demandé pourquoi les autres nerfs et vaisseaux ne le seraient pas.

La gouttière radiale, pas plus que les autres accidents de la diaphyse humérale, ne peuvent plaider en faveur d'une torsion réelle de l'humérus.

Si nous envisageons donc, ainsi que les faits l'imposent, l'angle de torsion comme un *angle de déviation*, exprimant le changement d'orientation de la tête humérale par rapport à l'axe articulaire du coude, il faut remarquer que, dans ce cas, ce sont les valeurs inférieures de l'angle (90°) qui expriment une grande déviation et, inversement, ce sont ses valeurs supérieures ($150-180^\circ$) qui expriment une déviation très faible.

Les facteurs essentiels qui déterminent une différence si marquée entre les angles de torsion chez les Primates sont : la position des omoplates, commandée par la forme du thorax (élargi transversalement, ou aplati laté-

ralement); le mode de station de l'animal et l'usage qu'il fait de son membre antérieur.

Chez l'Homme les variations de l'angle de torsion suivant le *sexe* et le *côté* s'expliqueraient d'après FICK par le fait que chez les femmes et du côté droit le plan des omoplates est plus frontal que chez les hommes et du côté gauche.

D'autre part, il est aujourd'hui hors de discussion que le déplacement progressif de la tête humérale, au cours du développement, correspond exactement à la différence de position de l'omoplate chez le fœtus et chez l'adulte. Ce fait a été suffisamment démontré par les recherches de GEGENBAUER, de BROCA, de LAMBERT, de FICK et de HULTKRANTZ.

Mais s'il est incontestable que la tête humérale suive les changements de position de l'omoplate, il serait abusif d'attribuer toute la valeur de l'angle de déviation entre les surfaces articulaires de l'humérus au seul déplacement de la tête humérale.

L'axe articulaire huméral du coude n'est nullement fixe, comme on le suppose généralement; sa direction varie chez les Primates suivant l'attitude habituelle de l'avant-bras et de la main.

Au coude, comme à l'épaule, les surfaces articulaires se forment et se développent là où il y a pression et mouvement. Il est clair que dans un avant-bras en supination le radius et le cubitus non-seulement ne sont pas croisés, mais de plus leurs extrémités supérieures déterminent un axe articulaire du coude autre que celui d'un avant-bras en attitude de pronation.

C'est ainsi que chez tous les singes grimpeurs, où les mouvements de supination sont très fréquents, l'axe arti-

culaire du coude forme avec le plan sagittal du corps un angle de 90° . Ce même angle, chez les singes cynomorphes, est à cause de la pronation qui accompagne la marche sur le sol, plus fermé (75° environ). Ceci explique la légère augmentation de l'angle de torsion dans cette catégorie

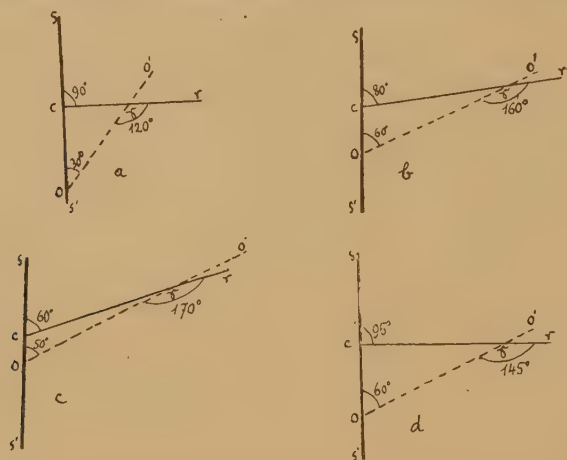


Fig. 76, *a-d*. — Figures destinées à montrer le rapport entre l'orientation du coude et de l'omoplate et la valeur de l'angle de torsion humérale.

a. Anthropoïde; *b*. Européen (homme); *c*. Européen (femme); *d*. Nègre.

ss' = direction du plan sagittal du corps.

rc = la ligne du coude.

o'o = la direction de l'omoplate.

γ = angle de torsion.

de Primates. Chez les Anthropoïdes, l'angle de direction du coude varie entre 80° (Orang) et 90° (Gorille, Chimpanzé, Gibbon). L'accroissement de l'angle de torsion s'explique ici par le fait que le plan de l'omoplate n'est plus parallèle au plan sagittal, le premier forme avec ce dernier un angle de 30° environ (fig. 76 *a*).

Dans la première partie de ce travail nous avons vu que l'étendue des variations individuelles de l'angle de torsion est insignifiante chez les singes marcheurs et ne dépasse pas 20° chez les Anthropoïdes. Ceci est en rapport avec

les changements de position, peu accentués, de l'omoplate et du coude, par rapport au plan sagittal du corps, dans tous ces groupes de Primates.

Chez l'Homme, au contraire, l'étendue des variations de l'angle de torsion est considérable (52°). Les valeurs inférieures de l'angle atteignent 128° (Nègres d'Afrique) et les valeurs supérieures, 180° (Blancs d'Europe). Broca a trouvé même des angles de torsion dont la valeur maxima s'élevait à 187° .

Comment expliquer une si forte étendue de variation?

La position variable de l'omoplate, ou le port des épaules, ne suffit pas à expliquer les différences si grandes dans les valeurs de l'angle de torsion chez des sujets normaux. L'angle de direction de l'omoplate chez le Nègre est très rapproché de celui de l'Européen. Chez le premier, nous avons obtenu des angles variant de $50-75^\circ$ et chez le second des angles variant de $50-70^\circ$.

Ces résultats ne pourraient nous surprendre si l'on tient compte que l'indice d'élargissement du thorax est, d'après TOPINARD (48) sensiblement supérieur chez le Nègre (124), par rapport à celui de l'Européen (112).

De fait, l'orientation de la tête humérale est presque la même chez l'Européen et chez le Nègre et ce qui détermine, chez le dernier, une déviation si prononcée entre les axes des deux surfaces articulaires humérales, est surtout la position habituelle de la ligne du coude.

Les caractéristiques fondamentales de l'axe articulaire huméral du coude chez le Nègre sont : la réduction de sa longueur dans le sens transversal et la forte excavation de la trochlée. Ces deux faits réunis avec la présence d'une épitrochlée très saillante impliquent un mouvement fréquent de rotation du radius autour du cubitus, mouve-

ment très ample mais peu rigoureux, ce qui est d'ailleurs aussi indiquée par la gracilité du squelette brachial et antibrachial des Nègres.

D'autre part, la main se trouve placée chez le Nègre aussi bien que chez l'Européen, en demi-pronation; mais le pli du coude qui regarde en avant et un peu en dedans chez l'Européen, regarde chez le Nègre directement en avant et même un peu en dehors.

En effet, si en dehors de l'observation sur le vivant on essaye de mettre en place sur leurs squelettes respectifs un humérus d'Européen et un humérus de Nègre, on peut faire la constatation suivante : tandis que les têtes humérales des deux os s'orientent de la même façon, les lignes articulaires de leurs épiphyses inférieures s'orientent différemment. Chez le Nègre la ligne du coude peut former avec le plan horizontal du corps un angle d'orientation de $90-100^{\circ}$, chez l'Européen ce même angle est beaucoup plus petit $70-80^{\circ}$. Chez la femme européenne, il peut descendre jusqu'à 60° , l'avant-bras étant chez elle en position de pronation très accentuée.

Si chez le Nègre l'angle d'orientation du coude est plus ouvert que chez l'Européen ceci tient probablement du fait que chez le premier les mouvements du membre supérieur ont lieu principalement des deux côtés du corps, tandis que chez le dernier ces mouvements se passent plus fréquemment au devant du corps.

Les valeurs de l'angle de torsion, souvent très élevées, chez les femmes et chez les sujets européens maigres, s'expliquerait en partie par une plus forte inclinaison de l'axe du coude sur le plan sagittal (60°) et en partie par un angle de direction de l'omoplate plus fermé (50°) que chez les sujets robustes.

Il est en effet connu que le port des épaules en arrière exige une forte tension de la part des rotateurs en dehors de l'humérus et cette attitude ne pourrait se réaliser sans fatigue que chez les sujets robustes.

Toutes les considérations qui précèdent sont groupées et résumées d'une façon schématique dans les figures 76 (*a-d*).

Ces considérations peuvent être d'ailleurs vérifiées sur le vivant; elles tendent à démontrer les déplacements de l'axe articulaire du coude et par conséquent, la part que la direction de cet axe doit prendre dans l'interprétation de la torsion humérale.

En résumé, on peut conclure que l'angle dit de torsion de l'humérus est le résultat direct des rapports qui s'établissent entre le segment brachial du membre thoracique et la ceinture scapulaire d'une part et d'autre part entre ce même segment et les conditions du milieu par l'intermédiaire de l'articulation du coude.

CHAPITRE V

CONCLUSIONS

L'étude du squelette brachial et antibrachial des Primates conduit à penser que d'une façon générale si l'on veut interpréter un fait morphologique on ne doit pas le considérer isolément ; il faut au contraire l'envisager concurremment avec l'ensemble de tous les faits qui lui sont corrélatifs.

C'est pour pouvoir atteindre ce résultat qu'il a été fait, dans ce travail, un large usage de *la méthode comparative des variations individuelles*, méthode indispensable à toute recherche de déterminisme morphologique, car elle permet de constater le mode d'association des caractères, ou des phénomènes morphologiques, entre eux ; d'apprécier l'étendue de leur variation, en même temps que leur fréquence.

Les variations morphologiques du squelette du bras et de l'avant-bras sont étroitement liées, chez tous les Primates, au mode de vie de l'animal.

Ces variations sont surtout conditionnées par le rôle de la main comme organe de préhension et par le degré de libération du membre antérieur de son contact avec le sol.

C'est ainsi qu'au point de vue des usages du membre antérieur nous avons pu distinguer parmi les Primates,

les quatre types d'adaption suivants : un type arboricole, à la fois sauteur et grimpeur, ou uniquement grimpeur ; un type arboricole suspendu ; un type marcheur terrestre et enfin un type préhenseur adapté plus ou moins parfaitement à la station verticale.

Le squelette brachio-antibrachial de chacun de ces types étant compatible avec un ensemble précis d'exigences mécaniques, le mécanisme de transformation des os longs du membre antérieur est lui-même, toujours, un mécanisme adaptatif.

Le développement des os et leurs changements de formes ne peuvent être conçus en dehors de la présence des muscles et de leurs conditions de travail.

La présente étude a essayé de montrer qu'au point de vue morphogénique l'os n'est pas simplement un élément *passif*, façonné par le muscle, élément *actif* ; qu'au contraire l'os et le muscle se transforment simultanément, leur dépendance réciproque étant soumise aux conditions générales d'équilibre de l'individu auquel ces deux éléments organiques appartiennent.

C'est pourquoi l'allongement des segments osseux, leur développement en épaisseur, leur relief, et leurs déformations ne peuvent résulter que d'un processus d'adaptation.

En ce qui concerne la morphologie et la morphogénie du squelette du bras et de l'avant-bras des Primates, les faits les plus importants qui résultent de ce processus adaptatif sont les suivants :

a) Une incompatibilité entre l'allongement des os et leur développement en épaisseur.

Cette incompatibilité pourrait s'expliquer, par le fait que le muscle qui déplace le levier osseux favorise la croissance de celui-ci suivant la direction de ses plus fortes com-

posantes ; puis parce que la composante longitudinale et la composante de rotation d'un muscle opposent leur action et enfin par le fait que les muscles à insertion charnue, lorsqu'ils sont puissants et à large section transversale, exigent une plus vaste surface d'insertion que lorsqu'ils sont faibles et à section réduite.

b) L'os le plus long et le plus mince est le moins incurvé et le moins aplati ; inversement, l'os le plus court et le plus épais présente les plus fortes incurvations et le plus d'aplatissement.

Les incurvations des diaphyses et leur aplatissement sont dus à la situation variable des masses musculaires par rapport aux segments osseux ; à la tension permanente de certains muscles qui agit davantage que leurs très fortes contractions ; enfin au rapport des segments osseux entre eux. — Dans tous ces cas, le parallélisme le plus rigoureux entre la force des muscles et le phénomène morphologique réalisé est incontestable.

c) L'os le plus long est dépourvu de relief, alors que l'os le plus court en présente un très prononcé.

Les excavations des diaphyses, localisées à l'endroit des insertions charnues des muscles, sont déterminées par une nécessité d'augmentation complémentaire de la surface d'insertion musculaire au dépens du tissu osseux, car une surface d'insertion plane augmente en se creusant. Cette augmentation de surface n'est exigée que par les muscles forts dont les mouvements sont de petite amplitude. Les tubérosités et les rugosités d'insertion des grands muscles sont d'autant plus développées que l'insertion du muscle sur le levier osseux est plus défavorable, ce qui indique bien la nature adaptative du phénomène.

d) Les surfaces articulaires sont aplaties et à grand rayon de courbure sur les os de forte robusticité; par contre, elles sont bombées et à petits rayon de courbure sur les os de faible robusticité.

Ce travail a essayé de démontrer que les surfaces articulaires résultent des pressions déterminées par les contractions musculaires qui tendent à comprimer deux extrémités osseuses se trouvant en contact. Les dépressions ainsi que l'élargissement des surfaces articulaires, soumis aux variations individuelles les plus étendues, sont produits par une entrave et une inégalité dans la croissance des os à leurs extrémités. Une dépendance étroite s'établit entre la force des muscles d'une part, et l'élargissement des surfaces articulaires et leur rayon de courbure, d'autre part.

Le processus d'adaptation de la forme des os aux conditions de travail des muscles paraît être imposé par deux facteurs morphogéniques principaux :

- 1° l'attitude habituelle du membre antérieur;
- 2° la nature et la quantité des mouvements.

L'attitude habituelle du membre antérieur, déterminée par les coordonnées statiques de l'animal et dont dépend tout le mécanisme de transformation des muscles, des articulations et des os, possède un rôle morphogénique fondamental qui a été trop souvent négligé.

Ainsi, il semble nécessaire de penser que l'extension des angles articulaires favorise l'allongement des segments osseux et la flexion angulaire favorise, au contraire, leur développement en épaisseur.

Il y a un rapport direct entre la surface d'insertion d'un muscle, l'excavation qu'il produit sur l'os et l'*angle* sous lequel ce muscle est appelé à agir d'une façon habituelle.

C'est l'attitude du membre antérieur qui règle la longueur des bras de levier des principaux muscles de la flexion et de l'extension de l'avant-bras sur le bras. C'est aussi de l'attitude de ce membre que dépend l'orientation des surfaces articulaires, leurs positions réciproques et les déviations qui s'établissent entre les surfaces articulaires d'un même os. Il s'ensuit que le phénomène dit de torsion humérale, lui-même, est une conséquence des attitudes variables du membre antérieur.

La nature et la quantité des mouvements, déterminées par la nature et la force des muscles, nous indiquent les conditions dans lesquelles se réalisent les changements morphogéniques des os.

Un type adapté aux mouvements de force et de petite amplitude et un type adapté aux mouvements peu vigoureux et de grande amplitude, chacun avec un ensemble de modifications morphologiques corrélatives, peuvent être distingués dans l'ensemble des Primates de même que dans les variations individuelles de chaque espèce.

BIBLIOGRAPHIE

Anthropologie.

1. ANTHONY (R.) et HAZARD (A.). — Notes sur la Myologie d'un Nègre de l'Oubangui. *L'Anthropologie*, 1905.
2. ALBRECHT (P.). — Beitrag z. Torsions-theorie des Humerus, etc. *Inaug. Diss. Kiel*, 1875.
3. BERTAUX (T.-A.). — L'humérus et le fémur. *Thèse de Lille*, 1891.
4. BROCA (P.). — La torsion de l'humérus et le tropomètre. *Rev. d'Anthrop.*, vol. X, 1881.
5. BOULE (M.). — L'homme fossile de la Chapelle-aux-Saints. *Ann. de Paléontologie*, t. VII, 1912.
6. CAMPANA. — La torsion de l'humérus. Article in CHAUVEAU, *Animaux domestiques*, Paris, 1903,
7. *Id.* — Membres, développ. anthrop. etc. Art. *Dictionn. encyclopéd. des Sc. Méd.*, 2^e sér., t. VI, 1873.
8. DUCKWORTH (W.). — Morphology and Anthropology, 2^e éd., vol. I et II. Cambridge, 1915.
9. DURAND DE GROS. — La torsion de l'humérus et les origines animales de l'homme. *Bull. Soc. d'Anthrop. Paris*, 2^e sér., 1868.
10. DWIGHT (T.). — The size of the articular surfaces, etc. *Am. Journ. of Anat.*, vol. IV, n^o 1, 1904.
11. FISCHER (E.). — Die Variationen an Radius u. Ulna des Menschen. *Zeitschr. f. Morph. u. Anthr.* Bd. IX, 1906.
12. FRASSETTO (F.). — Lezioni di Antropologia, vol. III. Gli Arti. Bologna, 1917.
13. GEGENBAUR (G.). — Über die Drehung des Humerus. *Jenaische Zeitschr. f. Medic. u. Naturwissensch.* Bd. IV, 1868.
14. GRÜNEWALD (J.). — Über Torsionserscheinungen an dem langen Röhrenknochen des Menschen. *Zeitschr. f. Morph. u. Anthr.* Bd. XXI, 1919.

15. GUÉRIN (J.). — Sur la torsion de l'humérus. *Bull. Soc. Anthr. Paris*, 2^e sér., t. III, 1868.
16. HAMY (E.-T.). — Recherches sur les proportions du bras et de l'avant-bras aux diff. âges de la vie. *Rev. d'Anth.*, 1872.
17. HYADES et DENICKER. — Mesures sur le vivant chez les Fuégiens Yahgans. *Mission du Cap-Horn*, 1882-83, t. VIII. Paris, 1891.
18. HRDLICKA (A.). — Typical forms of Shaft of long Bones. *Proc. of the Assoc. of Amer. Anat.*, 14^e sess., 1900. Baltimore.
19. KLAATSCH (H.). — Menschenrassen u. Menschenaffen. *Korresp. Blatt. der deutsch. Gesellsch. f. Anthr.*, 41, 1910.
20. KLAATSCH u. LUSTIG. — Morphol. d. paleolith. Skelettreste d. mittleren Aurignacien d. Grotte von la Rochette (Dordogne). *Arch. f. Anthropol.*, 1915.
21. LAMBERT (Fr.). — Bertrag zur Theorie des Torsions des Humerus (*dissert.*). Lausanne, 1904.
22. LAMBERT (M.-M.). — Note sur la torsion de l'humérus chez l'Homme. *C. R. Soc. Biol. Paris*, 1892.
23. LE DAMANY (P.). — Les torsions osseuses, leur rôle dans la transform. des membres. *J. de l'Anat. et de la Physiol. Ann.* 42, 1903.
24. MACLAUD. — Notes anthropol. sur les Diolas de la Casamance. *L'Anthropologie*, 1907.
25. MANOUVRIER (L.). — Études sur les rapports anthropométriques. *Mém. Soc. d'Anthr. de Paris*, 3^e sér., 1902.
26. MANOUVRIER (L.) et ANTHONY (R.). — Étude des ossements humains de la sépulture néolit. de Montigny Esbly. *Bull. et Mém. Soc. Anthr. Paris*, déc. 1907.
27. MALL (F.-P.). — On the angle of the Elbow. *Amer. J. of Anat.*, vol. 4, 1905.
28. MARTIN (R.). — Lehrburch der Anthropologie. Iena, 1914.
29. MARTINS (CH.). Nouvelle comparaison des membres pelviens et thoraciques. *Ann. Sc. Nat. Zool.*, IV^e sér., 1857.
30. MENDÈS CORRÊA (A.). — Sur quelques diff. sexuelles dans le squelette des membres supér. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXXII, 1921.
31. *Id.* — Osteometria portuguesa IV Esqueleto do braço e do ante-braço (Extrait). *Ann. d'Academia Polytechnica do Porto*, t. XV, 1923.
32. MICHEL (R.). — Eine neue Methode z. Untersuch. langer Knochen, etc. *Arch. f. Anthr. N. F.*, Bd. I, 1903.
33. MOLLISSON (Th.). — Die Körperproportionen der Primaten. *Morphol. Jahrbüch.*, XLII, 1911.

34. NAGEL (K.). — Untersuchungen üb. den Armwinkel des Menschen (Separatabdr). *Zeitschr. f. Morph. u. Anthr.*, Bd. X, 1907.
35. POTTER (P.). — The obliquity of the arm of the female in extension. *Journ. of Anat. and Physiol.*, v. XXIX, N. S. 1895.
36. RIVET (P.). — Recherches anthrop. sur la Basse-Californie. *J. Soc. Américanistes*, Paris, 1909.
37. ROLLET (Et.). — De la mensuration des os longs des membres. *Thèse de Lyon*, 1889.
38. ROSAIRE (E.). — L'angle de déclinaison de l'humérus. *Thèse de Lyon*, 1892.
39. ROUFFIAC (P.). — La torsion de l'humérus, son développ. et les affect. dites congénitales de l'épaule. *Thèse de Paris*, 1924.
40. RUGGERI-GIUFRIDA. — L'indice tibio-fémorale et l'indice radio-omerales. *Archiv. d'Anat. eu di Embryol Firenze*, 1904.
41. SABATIER (A.). — Comparaison des membres thoraciques et pelviens. *Mém. Ac. Sc. Lettres Montpellier*, 1879.
42. SCHMIDT (F.). — Ueb. die gegenseitige Stellung der Gelenk- und Knochenaxen der vorderen u. hinteren Extremität bei Wirbeltieren. *Arch. f. Anthr.*, Bd. VI, 1873.
43. SCHWALBE (G.) u. FISCHER (E.). — Anthropologie bei G. Teubner, Leipzig, 1923.
44. SCHWERZ (Fr.). — Morphol. Unters. der Extremitäten Knochen aus dem alamanischen Gräberfelde von Augst. *Archiv. f. Anthropol.*, Bd. XV.
45. TESTUT (L.). — Recherches sur le squelette quaternaire de la Chancelade. *Bull. Soc. Anthr. de Lyon*, t. VIII, 1889.
46. *Id.* — L'apophyse sus-épitochléenne chez l'homme. *Intern. Monatschrift f. Anat. u. Physiol.*, Bd. VI, 1889.
47. THOMSON (Ar.). — Osteology of the Veddas of Ceylan. *J. of Anthropol. Instit. London*, 1890.
48. TOPINARD (P.). — Éléments d'Anthropologie générale, Paris, 1885.
49. VERNEAU (R.). — Les anciens Patagons, Monaco, 1903.
50. *Id.* — Les Grottes de Grimaldi, Monaco, 1906.
51. VICQ-D'AZIR. — Mém. sur les rapports qui se trouvent entre les usages et la structure de quatre extrémités dans l'homme et dans les animaux. *Mém. Acad. Roy. Sc. Ann.*, 1778.
52. WORTMANN. — Torsion of the humerus. *Mém. Nat. Acad. of Sc. Washington*, 1893, IV.

Anatomie comparée. — Embryologie.

53. AEBY (Chr.). — Beitr. z. Osteol. des Gorilla. *Morphol. Jahrb.*, 1878, vol. IV.
54. BOUVIER (H.). — Contribution à l'ostéol. du Chimpanzé. *Thèse Paris*, 1879.
55. BUGNION (E.). — L'articulation de l'épaule chez les animaux et chez l'homme. *C. R. Assoc. des Anat. Lyon*, 1901.
56. BRAUS (H.). — Ist die Bildung des Skelettes von den Muskellängen abhängig. *Morph. Jahrb.*, 1906.
57. *Id.* — Anatomie des Menschen I Bd. Bewegungs-apparat, Berlin, 1921.
58. CHAMPNEYS (F.). — On the muscles and nerves of a Chimpanze and a *Cynocephalus anubis*. *J. of Anat. and Physiol.*, vol. VI, 1872.
59. CHUDZINSKI (Th.). — Variations musculaires dans les races humaines. *Mém. Soc. Anthropol.*, 3^e sér., t. II, 1898.
60. CUÉNOD (A.). — L'articulation du coude. Étude d'Anat. Comp. *Intern. Mon. f. Anat. u. Physiol.*, Bd. V, 1888.
61. DUVERNOY. — Les caract. anat. des grands singes pseudo-anthrop. *Arch. du Mus. Hist. Nat.*, t. VIII, 1855-56.
62. DENIKER (J.). — Recherches anat. et embryol. sur les singes anthrop. *Arch. Zool. Gén. et Exp.*, 2^e sér., 1885.
63. EHLERS. — Beitr. z. Kenntnis des Gorilla u. d. Chimpanse. *Abh. d. K. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen*, Bd. XXVIII, 1881.
64. FICK (R.). — Vergl. Anat. Stud. an ein. erwachs. Orang-Utang. *Arch. f. Anat. u. Entwicklung*, 1895.
65. GODIN (P.). — Recherches anthropométriques sur la croissance des diverses parties du corps, Paris, 1903.
66. GREGORY (W.). and COMP. — Studies in Comparat. Miology and Osteol. *Bull. of the Americ. Mus. of Nat. History.*, vol. XXXVIII, art. XV, New-York.
67. HEPBURN (D.). — The comparat. anat. of the muscles and nerves of the super. and infer. extremities of the Anthropoid Apes. *J. of Anat. and. Physiol.*, vol. XXVI, 1892.
68. KECK (L.). — Spaltbild. an Extrem. d. Menschen, u. ihre Bedeut. f. d. norm. Entwicklungsgesch. *Morph. Jahrb.*, Bd. IIL, 1914.
69. KEÏTH (A.). — Introduction to the study of the antropoid Apes. *Natural Science*, vol. IX, 1896.
70. KOHLBRUGGE (J.-H.-T.). — Muskeln u. periphere Nerven der

- Primaten. *Verh. d. K. Akad. v. Vetenschappen Amsterdam*, 1897.
71. *Id.* — Mitteilung. ü. die Länge u. Schwere einiger organe bei Primaten. *Z. f. Morph. u. Anthr.*, 1900.
72. LANGER (C.). — Die Muskulatur d. Extremitäten des Orang als Grundlage einer vergl. Myol. Untersuch. *Sitz. Bericht. d. K. K. Akad. d. Wissen. zu Wien.*, t. LXXIX, Mäz, 1879.
73. LESBRE (F.-X.). — Essai de Myologie comparée de l'homme, etc. *Bull. Soc. Anthropol. Lyon*, 1897.
74. LEWIS (W.-H.). — The development of the arm in Man. *Amer. J. of Anat.*, v. I, Chicago, 1902.
75. LUDKEWITCH (A.). — L'articulation de l'épaule, étude d'arthrol. comp. *Bull. Soc. Vaudoise des Sc. Nat.*, vol. XXXV, 1899.
76. MAC DOWELL (E.-C.). — Notes on the myol. of *Anthropithecus niger* and *Papio Thibeanus*. *Am. J. of Anat.*, vol. X, 1910.
77. MICHAELIS (P.). — Beiträge z. vergl. Myol. des *Cynoceph. babuin*, *Simia Satyrus*, *Troglodytes niger*. *Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt.*, 1903.
78. MIVART (St-G.). — On the appendicular Skeleton of Primaten. *Philosoph. Transact.*, vol. CLVII, 2^e part., 1867.
79. PIRA (Ad.). — Beitr. z. Anat. des Gorilla I. *Morphol. Jahrb.*, Bd. III, 1913.
80. PUYHAUBERT (A.). — Recherches sur l'ossif. des os des membres chez l'Homme. *J. Anat. et Physiol.*, 1913.
81. RETTERER. — Contrib. au dével. des membres des Mammifères. *C. R. Soc. Biol.*, t. LIV, 1902.
82. *Id.* — Morphol. de la charpente squelettogène des membres des Mammifères. *J. Anat. et Physiol.*, 1884.
83. REYNOLDS (H.-S.). — The Vertebrate Skeleton, 2^e éd. Cambridge, 1913.
84. ROLLET (E.). — Les os longs des grands singes. *C. R. b. Ac. Sc. Paris*, t. CIX, 1889.
85. ROUVIÈRE et GRANEL. — Étude sur le ligament inter-osseux de l'avant-bras. *Bibliogr. Anat.*, fasc. 3, 1907.
86. SOMMER (Alfr.). — Das Muskelsystem des Gorilla, *Jen. Zeitschr. f. Naturwissen*, XLII, 1906.
87. SCHÜCK (Ad.). — Beitr. z. Myologie der Primaten I. *Morph. Jahrb.*, Bd. XV, fasc. 2, 1913.
88. STROMER (Ernst). — Ueb. die Bedeut des Foramen entepicondylöideus der Säug. *Morph. Jahrb.*, vol. XXIX, 1902.

89. TESTUT (L.). — Le long fléch. du pouce chez l'homme et chez les singes. *Bull. Soc. Zool. France*, v. VIII, 1883.
90. VALLOIS (H.). — L'épiphyse inférieure du fémur chez les Primates. *Bull. et Mém. Soc. Anthr.*, t. X, VI^e sér.
91. *Id.* — Etude anat. de l'articul. du genou chez les Primates. *Thèse Montpellier*, 1914.
92. VIALLETON (P.). — Différenciation et accroissement des os longs. *C. R. Acad. Sc.*, vol. CLXIX, 1920, p. 200 et 306.
93. *Id.* — Les membres et les ceintures des Vertébrés tétrapodes. Paris, Doin, 1924.
94. ZUCKERKANDL (E.). — Zur Anat. von *Chiromys madagascariensis*. *Denkschr. d. math. naturwiss. Klasse d. K. K. Ak. d. Wissensch. zu Wien.*, 1899.

Physiologie. — Mécanique.

95. ALEZAIS. — Adaptations fonctionnelles de l'appareil locomoteur. *Journ. de Physiol. et Pathologie générale*, 1901.
96. BRAUNE (W.) u. FISCHER (O.). — Untersuch. üb. d. Gelenke d. menschl. Armes. *Abh. d. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch.*, XIV, 1887.
97. CHABRY (L.). — Sur la longueur des membres des animaux sauteurs. *J. de l'Anat. et de la Physiol.*, 1885.
98. CHAUVEAU, MAREY, WEISS, etc. — Traité de Physique biologique, t. I, Paris, 1901.
99. COLIN (G.). — Traité de physiol. comparée des animaux domestiques, Paris, 1871.
100. DUMUR (J.). — Recherches sur la Mécan. des articul. radio-cubitales. *Thèse de Bordeaux*, 1889.
101. FÉRÉ et PAPIN. — Note sur quelques variétés de la direction du membre supér. *J. Anat. et Physiol.*, ann. XXXVIII.
102. FÉRÉ (Ch.). — Notes sur les variétés de l'amplitude et de la direction de quelques mouvements du membre supérieur. *J. Anat. et Physiol.*, ann. XXXIX, n^o 4.
103. FICK (L.). — Lehrbuch der physiol. Anatomie, Leipzig, 1845.
104. FICK (R.). — Ueb. die Form. der Gelenkflächen. *Arch. f. Anat. Physiol. Anat. Abt.*, 1890.
105. *Id.* — Handbuch der Anat. u. Mechanik der Gelenke berück-sichtigung d. beweg. Muskeln, Jena, 1911.
106. FISCHER, Otto. — Beitr. z. e. Muskeldynamik. I Abh. Ueb. die

- Wirkungsweise eingelenkiger Muskeln. *Abh. d. K. Sächs. Gesell. d. Wissensch.*, t. XXII, 1895.
107. GIRAUD-TEULON. — Mécanique animale, Paris, 1858.
 108. GRÉGOIRE (R.). — Sur les articul. du squelet. antibrach. *J. de l'Anat. et de la Physiol.*, 1907.
 109. GREGORY (W.-K.). — Quadrupedal Locomotion. *Ann. New-York Acad. of Sc.*, vol. XXII, 1912.
 110. GUÉRIN (J.). — Essai de physiol. générale et didactique, Paris, 1868.
 111. HAUGHTON (S.). — Prinziple of animal mechanics, London, 1873.
 112. HENKE (W.). — Handbuch der Anat. u. Mechanik der Geleuke, Leipzig u. Heidelberg, 1863.
 113. HERR. — Morphologie et fonction du système musculaire. *Thèse de Lyon*, 1889.
 114. HULTKRANTZ (J.-W.). — Das Ellenbogengelenk und seine Mechanik, 1897.
 115. HAYCRAFT. — Animal mechanics. *Textbook of Physiol.*, vol. II, 1900.
 116. IMBERT (A.). — Contrib. à la mécanique des muscles du membre supér. chez l'homme. *J. Anat. et Physiol.*, t. XX, 1884.
 117. *Id.* — Mode de fonctionnement économique de l'organisme. *Scientia*. Paris, 1902.
 118. LECOMTE. — Le coude et la rotation de la main. *Arch. gén. de Médic.*, 1877, I.
 119. LESSHAFT (P.). — Grundlagen der theoretischen Anat., Leipzig, 1892.
 120. *Id.* — Ueb. das Verhältnis der Form. der Gelenkflächen zur Bewegung. *Anat. Anzeig.*, 1901.
 121. LE DAMANY (P.). — L'adaptation de l'homme à la station debout. *J. de l'Anat. et de la Physiol.*, 1905.
 122. MAHOUDEAU (P.-G.). — La marche bipède du Gibbon. *Rev. anthropol.*, 1913.
 123. MAREY (Et.). — La machine animale, 3^e éd. Paris, 1879.
 124. MOLLIER (S.). — Ueb. d. Statik u. Mechanik des menschlichen Schultergürtel. Iena, 1899.
 125. MEYER (G.-H.). — Die Statik u. Mechanik des menschlichen Knochengerüsts. Leipzig, 1873.
 126. MUYBRIDGE. — Animals in motion. Chapman and Hall. London, 1902.
 127. PANZACCKI. — Lo spazio interosseo nelle varie posizioni di rotazione dell avanbraccio, *Arch. Ortop.*, ann. II^e, 1903, n° 5

170 ÉTUDE DU SQUELETTE DU BRAS CHEZ LES PRIMATES

128. PARSONS (O.). — Observations on traction of epiphyses. *J. of Anat.*, 1904, vol. XXXVIII, p. 3.
129. REULEAUX (F.). — Kinematik im Tierreiche. *Lehrb. d. Kinematik*, 2, Bd. Braunschweig, 1900.
130. ROULIN. — Recherches théoriques et expér. sur le mécanisme des attitudes et des mouvements de l'homme. *Journ. de Magendie*, 1821.
131. SANSON (A.). — Travail effectué dans la locomot. des quadrupèdes. *J. de l'Anat. et Physiol.*, 1886, ann. XXII.
132. STRASSER (H.). — Lehrbuch d. Muskeln u. Gelenkmechanik, 1908-1913. Berlin, IV vol.
133. THILO (O.). — Kinematik im Tierreiche. *Biol. Centralblatt*, 1901.
134. WOLFF (J.). — Forme et fonction. Paris, Baillière, 1901.
135. WEIDENREICH. — Ueber den Begriff « Knochen », etc. *Verh. Anat. Gesell.* 32 Vers. Heidelberg, 1923.
136. WEISS (G.). — Le muscle dans la série animale. *Rev. gén. des Sc.* Paris, 1901.
137. ZSCHOKKE. — Neue Untersuch. üb. das Verhältnis der Knochenbildung z. Statik u. Mechanik der Wirbeltierskelett. Zurich, 1892.

Morphogénie.

138. ANTHONY (R.). — Du rôle de la compression dans la genèse des tendons. *C. R. Ac. Sc.*, 19 oct. 1903.
139. *Id.* — Contrib. à l'étude morphol. générale des caract. d'adaptation à la vie arboricole chez les Vertébrés. *Ann. Sc. Nat. Zool.*, 1912.
140. *Id.* — Etude expér. de la Morphogénie. *Bull. et Mém. Soc. Anthropol.*, 1903.
141. *Id.* — Le déterminisme et l'adaptation morphologiques. Paris, Doin. *Archives de Morphol.*, F. 14, 1923.
142. ANTHONY (R.) et RIVET (P.). — Contrib. à l'étude descript. et morphogénique de la courbure fémorale chez l'homme et les Anthropoïdes. *Ann. Sc. Nat. Zool.*, 9^e sér., 1908.
143. COPE (Ed.). — Primary Factors of Organic Evolution. Chicago, 1904.
144. DEMOOR. — La plasticité organique du muscle, de l'os et de l'articul. *Bull. Acad. Roy. de Méd. de Belgique*, 25 avril 1903.
145. JOACHIMSTHAL. — De l'adaptation spontanée des muscles aux changements de leurs fonctions. *C. R. Ac. Sc.*, 20 avril, 1896.

146. LULL (R.-S.). — Organic Evolution. New-York, 1917.
147. MANOUVRIER (L.). — Mém. sur la phatycnémie du tibia chez l'Homme et les Anthropoïdes. *Mém. Soc. d'Anthrop. Paris*, II^e sér., t. III, 1887.
148. *Id.* — La perforation olécranienne. *C. R. Assoc. Av. Sc. Rouen*, 1921.
149. MAREY (E.). — Des lois de la Morphogénie chez les animaux. *Arch. de Physiol. norm. et pathol.*, 1899.
150. MOLLISON (Th.). — Zur Entstehung der Torsion des Humerus. *Muench. med. Wochenschrift*, 1917, n° 30.
151. OSBORN (H.-F.). — The angulation of the limbs, etc. *American Naturalist.*, 1900, p. 89.
152. PAPILLAULT (G.). — Essai sur les modific. fonction. du squelette. *Rev. de l'Ecole d'Anthrop.*, mars 1901.
153. RÉGNAULT (F.). — Essai sur les proportions du corps. *Bull. et Mém. Soc. Anthr.*, avril 1903.
154. *Id.* — Surfaces d'insertions osseuses des muscles. *Bull. Soc. Anat.*, 1896.
155. *Id.* — Mécanisme de la formation des sillons osseux par le passage des tendons. *Bull. Soc. Anat.*, 1897.
156. ROMIGNOT. — Du rôle de la compression active dans la localisation des tendons. *Thèse Lille*, 1902.
157. ROUX (W.). — Beitr. z. Morphol. d. funktionn. Anpassung. *Zeitschr. f. Naturwissensch.*, XVI, N. F. Bd. IX, 1883.
158. *Id.* — Das Gesetz der Transformation der Knochen. *Berlin. Klin. Wochenschr.*, 1893.
159. RUGE (G.). — Die Körperformen des Menschen in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit mit Bedingtheit durch den aufrechten Gang. Leipzig, 1918.
160. RUSSELL (E.-S.). — Form and Function. London, 1916.
161. TORNIER (G.). — Das Entstehen der Gelenkformen. *Arch. f. Entwicklungsmechanik*, Bd. I, H. 2, 1895.
162. VALLOIS (H.-V.). — Considérations sur la forme de la section transv. du tibia chez les Lémuriens, les Singes et l'Homme. *Bull. et Mém. Soc. Anthrop. Paris*, oct. 1912.

Zoologie.

163. BEDDARD (F.-E.). — Mammalia in Cambridge, nat. history. London, 1902.
164. BREHM (A.-E.). — Tierleben : die Säugetiere, 4^{te} Aufl. Leipzig, 1912.

172 ÉTUDE DU SQUELETTE DU BRAS CHEZ LES PRIMATES

165. BROCA (P.). — L'Ordre des Primates. *Bull. Soc. Anthropol. Paris*, 1869.
166. FLOWER (W.-H.) and LIDDEKKER (R.). — An Introduction to the Study of Mammals living and extinct. London, 1891.
167. FORBES (H.-O.). — A Handbook to the Primates. Allens Nat. Library. London, 1902.
168. GREGORY (W.-K.). — Studies on the Evolution of the Primates. *Bull. of the Americ. Mus. of Nat. Hist.*, vol. XXXV. New-York, 1916.
- 168 bis. GRANDIDIER (G.). — Recherches sur les Lémuriens disparus. *Thèse Paris*, 1905.
169. HARTMANN (R.). — Les Singes anthropoïdes. Paris, Alcan, 1886.
170. MILNE-EDWARDS (Alph.) et GRANDIDIER (A.). — Hist. Nat. phys. polit. de l'Ile de Madagascar. *Hist. nat. des Mammifères*, vol. VI, t. I.
171. WEBER (Max). — Die Säugetiere. Iena, 1904.
-

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	I
CHAPITRE I. — Historique critique	7
CHAPITRE II. — Matériel d'étude	13
CHAPITRE III. — Données morphologiques : Etude des os.	15
I. Longueur absolue des segments osseux. Indice radio-huméral	15
II. Robusticité des os. Indice de robusticité	22
III. Incurvation des diaphyses. Angles de déviation. Indices d'incurvation.	27
IV. Aplatissement des diaphyses. Indice de section de l'humérus. Indice de platôlénie	37
V. Relief des os, Excavation des diaphyses. Coulisse bicipitale, crêtes	42
VI. Largeur des surfaces articulaires. Indices de largeur articulaire.	54
VII. Étude des surfaces articulaires : a) la tête humérale; b) les surfaces articulaires du coude; c) les surfaces articulaires radio-cubitales inférieures	58
VIII. Indices d'élongation et d'élargissement de l'olécrâne. Indice du col radial	87
IX. La forme de l'espace interosseux de l'avant-bras	92
X. La torsion de l'humérus. Angle de torsion.	97
XI. Observations d'ensemble sur la première partie.	99
CHAPITRE IV. — Morphogénie.	102
I. Le problème de l'allongement et de la robusticité des segments osseux.	102
II. La déformation des os. L'incurvation et l'aplatissement des diaphyses	113
III. Les surfaces articulaires et leur mode de formation.	127

IV. Le relief osseux et l'amélioration des conditions du travail musculaire.	137
V. L'interprétation de la forme et de l'allongement de l'olécrâne. L'allongement du col radial.	142
VI. L'interprétation de la torsion de l'humérus.	148
CHAPITRE V. — Conclusions.	158
BIBLIOGRAPHIE.	163

DEUXIEME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

1° LE VACUOME DANS LA CELLULE VÉGÉTALE

2° LES PRIMATES FOSSILES

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 10 août 1925.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

M. MOLLIARD

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris.

Pour le Recteur, l'Inspecteur de l'Académie.

PAUL CROUZET

